

Rahel Schmid

**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

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 366

Rahel Schmid

**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

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Martin Hopf und Mathias Ropohl [Hrsg.]

Publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds
zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

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 Attribution 4.0 Lizenz CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/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.

Textsatz: Florian Hawemann (satz+layout, Berlin)

Erscheinungsjahr: 2023

ISBN (print): 978-3-8325-5722-5

ISBN (open access): 978-3-8325-8278-4

DOI: <https://doi.org/10.30819/5722>

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>

Abstract

Fehler gehören als integraler Bestandteil von Nature of Science (NOS) zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess. Ein besonderer Blick auf Fehler ermöglicht ein besseres Verständnis über die Entstehung des naturwissenschaftlichen Wissens. Die vorliegende Studie hat zum Ziel, erste empirische Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses und dem Umgang mit Fehlern von Schweizer Schüler*innen der Sekundarstufe I zu liefern. Es wurde den Fragestellungen nachgegangen, inwiefern das Verständnis von NOS-Aspekten den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern beeinflusst, inwiefern sich diese Variablen durch eine Intervention positiv beeinflussen lassen, wie stabil sich diese Variablen über die Zeit zeigen und welche wechselseitige Wirkung zwischen diesen Variablen über die Zeit festgestellt werden kann. Zudem wurde erhoben, welches Verständnis Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess haben. Darüber hinaus wurde von Schmid, Robin, Smit und Strahl (2022) untersucht, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation auswirkt. Die Daten zur Untersuchung der formulierten Forschungsfragen wurden mittels Mixed-Methods in einem Längsschnittdesign mit Pre, Post- und Follow-up-Test erhoben. Zwischen Pre- und Posttest wurde eine Interventionsstudie im *Smartfeld*-Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt. Die Stichprobe bestand aus 269 Schüler*innen der Sekundarstufe I (7.–9. Klasse) aus der Ostschweiz. Mit einem Teil der Schüler*innen ($N = 28$), sowohl aus der Interventions- als auch aus der Kontrollgruppe, wurden zudem leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Einfluss auf die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen hatte. Zudem zeigten die Ergebnisse, dass der Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler durch die Fehlerlernorientierung vermittelt wird. Die Intervention erbrachte keine direkten Effekte auf die Fehlerlernorientierung, auf die affektiv-motivationalen Reaktionen

auf Fehler sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten. Jedoch konnte festgestellt werden, dass es zwei Monate nach der Intervention einen Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten gab. Die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen erwies sich über die drei Messzeitpunkte weniger rangstabil als ihr Verständnis von NOS-Aspekten. Die Ergebnisse in Bezug auf die kreuzverzögerten Pfade waren heterogen. Es konnten keine kreuzverzögerten Effekte zwischen hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. Jedoch konnten einige kreuzverzögerte Effekte zwischen hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt nachgewiesen werden. Die qualitativen Ergebnisse implizieren, dass für einen großen Teil der interviewten Schüler*innen Fehler zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und zur Erkenntnisgewinnung dazugehören. In Bezug auf die intrinsische Motivation konnten Schmid et al. (2022) aufzeigen, dass die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen einen kleinen, aber signifikanten Effekt auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren aufwies. Zudem wirkte die Selbstwirksamkeitserwartung als Mediator zwischen deren Fehlerlernorientierung und der intrinsischen Motivation. Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen die zentrale Rolle des Umgangs mit Fehlern im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht, da sie unter anderem als integraler Bestandteil von NOS betrachtet werden sollten.

Dank

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuenden Assoz. Prof. Dipl.-Phys. Dr. Alexander Strahl und Prof. Dr. Nicolas Robin für die kompetente und wertschätzende Begleitung, die inspirierenden Gespräche, die konstruktiven Rückmeldungen, die Möglichkeit zur Teilnahme an zahlreichen Tagungen und den Glauben an meine Fähigkeiten und meine Arbeit.

Dank dieser hervorragenden Betreuung war die Zeit der Promotion eine Zeit, in der ich mich sowohl beruflich als auch persönlich weiterentwickeln konnte.

Ein besonderer Dank gilt ebenso dem Bildungslab *Smartfeld – Technologie und Kreativität*, namentlich Dr. Cornelia Gut, Peter Frischknecht, Prof. Dr. Mathias Kirf, Britta Müller und Saskia Schnyder: Ohne sie wäre die Umsetzung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Besonders danken möchte ich auch Clemens Waibel und Danilo Just, den Leitern des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* im Rahmen der Interventionsstudie. Zudem möchte ich allen Studierenden danken, die als Kursassistenzen während der Interventionsstudie im Einsatz waren. Ein großes Dankeschön geht auch an alle Lehrpersonen und Schüler*innen, die bereit waren, in einer schweren und von Ungewissheit geprägten Zeit während der COVID-19-Pandemie an der Interventionsstudie teilzunehmen.

Auch allen Mitarbeitenden des Instituts Fachdidaktik Naturwissenschaften der Pädagogischen Hochschule St.Gallen, die mich in jeglicher Hinsicht bei der Promotion unterstützt haben, gebührt mein Dank. Ein großes Dankeschön geht an Prof. Dr. Robbert Smit, er hat mich bei den statistischen Analysen beraten und unterstützt. Danken möchte ich auch Prof. Dr. Michael Link für das Korrekturlesen des Kapitels *Fehler und Fehlertypen im Fach Mathematik* sowie Sanja Atanasova, Désirée Büchel, Dominik Tschirky und Dr. Christina Wolf für den fachlichen und freundschaftlichen Austausch. Ihr habt mir wertvolle Rückmeldungen gegeben, mich motiviert und immer an mich geglaubt.

Zudem danke ich Janine Küng von der Pädagogischen Hochschule Luzern für das Korrekturlesen des Kapitels *Fehler und Fehlertypen im Fach Medien und Informatik mit Fokus aufs Programmieren*.

Danken möchte ich außerdem der School of Education der Universität Salzburg für das lehrreiche Doktoratsstudium sowie den Mitarbeitenden unterschiedlicher Fachbereiche der Universität Salzburg für den bereichernden Austausch. Besonders danken möchte ich an dieser Stelle Verena Auer für die freundschaftliche Unterstützung, den fachlichen Austausch vor allem über die Interviews, für die anregenden Gespräche, das Intercoden und das Korrekturlesen von Manuskriptabschnitten. Auch Silvia Havlena danke ich herzlich für die freundschaftliche Unterstützung, die inhaltlich anregenden Gespräche und das Lesen der gesamten Arbeit.

Die vorliegende Arbeit wurde dank der finanziellen Unterstützung von *Smartfeld* und der Pädagogischen Hochschule St.Gallen ermöglicht. Zudem danke ich Swissuniversities für die finanzielle Unterstützung der Arbeitsaufenthalte an der Universität Salzburg.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie und meinen Freund*innen für ihre Geduld und die Ermutigungen während der Arbeit an der Dissertation.

Inhaltsübersicht

1	Einleitung	1
2	Theorie und Forschungsstand	7
3	Forschungsfragen und Hypothesen	91
4	Methoden	109
5	Analysemethodik	155
6	Ergebnisse	259
7	Diskussion	303
8	Schlussfolgerungen und Metainferenzen	339
9	Ausblick	351
10	Abbildungsverzeichnis	355
11	Tabellenverzeichnis	357
12	Literaturverzeichnis	361
13	Anhang	379

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorie und Forschungsstand	7
2.1	Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung	7
2.2	Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung	11
2.3	Nature of Science	18
2.4	Nature of Science und Umgang mit Fehler	23
2.5	Nature of Science im Lehr-Lern-Kontext	31
2.5.1	Nature of Science im schweizerischen Lehrplan Volksschule	32
2.5.1.1	Zuordnung Umgang mit Fehlern im Kompetenzbereich <i>NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen</i>	41
2.5.2	Unterrichtliche Vermittlung von Nature of Science	44
2.5.2.1	Implizite und explizite Lernprozesse	44
2.5.2.2	Implizite Zugänge für die Vermittlung von Nature of Science	45
2.5.2.3	Explizierte Zugänge für die Vermittlung von Nature of Science	49
2.5.2.4	Möglichkeiten zur Thematisierung von Fehlern im Rahmen der Vermittlung von NOS	53
2.5.3	Schüler*innenvorstellungen über Nature of Science	54
2.5.3.1	Definition Vorstellung	54
2.5.3.2	Entwicklung von Schüler*innenvorstellungen	54
2.5.3.3	Schüler*innenvorstellungen zu Nature of Science	55
2.5.3.4	Schüler*innenvorstellungen zu Fehlern als NOS-Bestandteile	57
2.6	Fehler im Lehr-Lern-Kontext	58
2.6.1	Definition Fehler im (NT-)Lehr-Lern-Kontext	58
2.6.2	Umgang mit Fehlern im Unterricht	59

2.6.2.1	Umgang mit Fehlern und Emotionen.....	62
2.6.2.2	Umgang mit Fehlern und Motivation.....	65
2.6.2.3	Umgang mit Fehler und Selbstwirksamkeitserwartung..	66
2.6.2.4	Förderung eines konstruktiven Umgangs mit Fehlern	67
2.7	Fehler im MINT-Unterricht.....	70
2.7.1	Fehler und Fehlertypen im Fach Mathematik.....	70
2.7.1.1	Fehlertypen.....	71
2.7.2	Fehler und Fehlertypen im Fach Medien und Informatik mit Fokus aufs Programmieren	75
2.7.2.1	Fehlertypen.....	78
2.7.3	Fehler und Fehlertypen im Integrationsfach Natur und Technik.....	80
2.7.3.1	Fehlertypen.....	82
2.7.4	Fazit zu Fehlern und Fehlertypen in MINT-Fächern	82
2.8	Nature of Science und Umgang mit Fehlern im MINT-Unterricht.....	84
2.8.1	Control-Value Theory of Achievement Emotions	86
2.8.2	Zuordnung der Untersuchungsvariablen zur Control-Value Theory of Achievement Emotions	89
3	Forschungsfragen und Hypothesen.....	91
3.1	Einfluss des Umgangs mit Fehlern auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren	92
3.2	Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern	93
3.3	Wirkung einer Intervention auf den Umgang mit Fehlern ...	95
3.4	Wirkung einer Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten	102
3.5	Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit.....	104
3.6	Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess	106

4 Methoden	109
4.1 Untersuchungsraum	110
4.1.1 Schüler*innenlabor <i>Smartfeld</i>	110
4.1.2 Schüler*innenworkshop <i>Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien</i>	111
4.1.2.1 Inhalte des Schüler*innenworkshops <i>Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien</i>	112
4.1.3 Lehrplanbezug des Schüler*innenworkshops <i>Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien</i> zum Kompetenzbereich <i>Medien und Informatik</i>	115
4.1.4 Fehlertypen im Workshop <i>Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien</i>	115
4.2 Forschungsdesign	119
4.2.1 Anpassung des Workshops <i>Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien für die Interventionsstudie</i>	121
4.2.1.1 Einsatz der 4-Schritte-Methode.....	128
4.2.2 Einflussfaktoren auf die Intervention und deren Wirkung	129
4.2.3 Zusammenfassung Interventionsstudie	131
4.3 Datenerhebung – Mixed-Methods	131
4.3.1 Fragebogen	131
4.3.1.1 Personenbezogene Angaben.....	134
4.3.1.2 Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren	134
4.3.1.3 Computerkompetenz	136
4.3.1.4 Computernutzung in der Freizeit	137
4.3.1.5 Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem <i>micro:bit</i>	137
4.3.1.6 Intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem <i>micro:bit</i>	138
4.3.1.7 Fehlerlernorientierung und Fehlerangst	139
4.3.1.8 Affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler	140
4.3.1.9 Nature of Science.....	141

4.3.1.10	Positive Affekte im <i>Smartfeld</i> (Spaß, Flow).....	146
4.3.1.11	Relevanz der Inhalte des Workshops <i>Smarte Textilien</i>	146
4.3.2	Stichprobe Fragebögen.....	147
4.3.3	Kurzinterviews.....	148
4.3.3.1	Erstellung Interviewleitfaden.....	148
4.3.3.2	Stichprobe.....	150
4.3.4	Experience Sampling Methode.....	154
5	Analysemethodik	155
5.1	Pilotierung Interventionsstudie	155
5.2	Pilotierung Fragebogen	157
5.2.1	Pilotierung Skala <i>Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren</i>	158
5.2.2	Pilotierung Skalen <i>Computerkompetenz und Computernutzung in der Freizeit</i>	162
5.2.3	Pilotierung Skala <i>Selbstwirksamkeit zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit</i>	165
5.2.4	Pilotierung Skala <i>intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit</i>	171
5.2.5	Pilotierung Skalen <i>Fehlerlernorientierung und Fehlerangst</i>	174
5.2.6	Pilotierung Skala <i>affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler</i>	181
5.2.7	Pilotierung <i>NOS-Skalen</i>	184
5.2.7.1	Skala <i>wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden</i>	184
5.2.7.2	Skala <i>Wissen ist vorläufig, aber beständig</i>	191
5.2.7.3	Skala <i>Fehlermachen beim Experimentieren</i>	196
5.2.7.4	Skala <i>Subjektivität</i>	199
5.2.7.5	Skala <i>Kulturelle Elemente der Wissenschaft</i>	204
5.2.8	Pilotierung Skala <i>positive Affekte im Smartfeld</i>	207
5.2.9	Pilotierung Skala <i>Relevanz der Inhalte des Workshops <i>Smarte Textilien</i></i>	210

5.3 Statistische Analysen Fragebogen	217
5.3.1 Übersicht über deskriptive und interferenzstatistische Analysen.....	217
5.3.1.1 Verbesserung der Skalenreliabilität der NOS-Skalen ...	217
5.3.1.2 Messinvarianzprüfung von NOS_B über die Zeit ...	223
5.3.1.3 Prüfung der Skalen auf Ausreißer und Extremwerte..	224
5.3.1.4 Prüfung der Skalen auf Normalverteilung	225
5.3.1.5 Übersicht über Skalenwerte	228
5.3.2 Vorbereitende Datenanalyse	229
5.3.2.1 Linearität.....	230
5.3.2.2 Autokorrelation	230
5.3.2.3 Multikollinearität	230
5.3.2.4 Homoskedastizität.....	231
5.3.2.5 Normalverteilung des Fehlerwertes	231
5.3.2.6 Korrelationen zwischen Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten zu den drei Mess- zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3	231
5.3.2.7 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern (Fragestellung und Hypothesen 2)	233
5.3.2.8 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern (Fragestellung und Hypothesen 3)	236
5.3.2.9 Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten (Fragestellung und Hypothesen 4)..	240
5.3.2.10 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit (Fragestellungen und Hypothesen 5)	242
5.4 Pilotierung Interviews	246
5.5 Analyse der Interviews	246
5.5.1 Durchführung der Interviews.....	246

5.5.2	Transkription der Interviews.....	246
5.5.3	Qualitative Inhaltsanalyse der Interviews	247
5.5.4	Quantifizierung der Interviews.....	249
5.5.5	Interrater-Reliabilität.....	251
6	Ergebnisse	259
6.1	Ergebnisse Fragebogenstudie.....	259
6.1.1	Einfluss des Umgangs mit Fehlern auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren.....	259
6.1.2	Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern.....	261
6.1.2.1	Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die Fehlerlernorientierung.....	261
6.1.2.2	Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ..	263
6.1.2.3	Mediationseffekt der Fehlerlernorientierung zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler...	265
6.1.3	Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern....	267
6.1.3.1	Direkte Wirkung auf die Fehlerlernorientierung....	268
6.1.3.2	Direkte Wirkung auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler	270
6.1.3.3	Nachhaltige Wirkung auf die Fehlerlernorientierung....	271
6.1.3.4	Nachhaltige Wirkung auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler	272
6.1.4	Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten	273
6.1.4.1	Direkte Wirkung auf das Verständnis von NOS-Aspekten.....	274
6.1.4.2	Nachhaltige Wirkung auf das Verständnis von NOS-Aspekten.....	275
6.1.5	Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit	277

6.2 Ergebnisse Interviewstudie	281
6.2.1 Ergebnisse zum ersten Bereich <i>Fehler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess</i>	282
6.2.1.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	285
6.2.2 Ergebnisse zum zweiten Bereich <i>Gründe für Fehler (Warum?)</i>	287
6.2.2.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	289
6.2.3 Ergebnisse zum dritten Bereich <i>Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)</i>	290
6.2.3.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	291
6.2.4 Ergebnisse zum vierten Bereich <i>Fehler beim Experimentieren</i>	292
6.2.4.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	293
6.2.5 Ergebnisse zum fünften Bereich <i>Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern</i>	293
6.2.5.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	295
6.2.6 Ergebnisse zum sechsten Bereich <i>Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern</i>	296
6.2.6.1 Ergebnisse Quantifizierung.....	298
6.2.7 Zusammenfassung: Ergebnisse generelle Einstellung zu Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess.....	299
7 Diskussion	303
7.1 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern	304
7.2 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern ..	308
7.2.1 Diskussion zur direkten Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern.....	308
7.2.2 Diskussion zur nachhaltigen Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern	312
7.3 Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten	316
7.3.1 Diskussion zur direkten Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten	316

7.3.2	Diskussion zur nachhaltigen Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten	317
7.4	Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit	319
7.5	Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess	326
7.5.1	Diskussion des ersten Bereichs <i>Fehler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess</i>	326
7.5.2	Diskussion des zweiten Bereichs <i>Gründe für Fehler (Warum?)</i>	327
7.5.3	Diskussion des dritten Bereichs <i>Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)</i>	328
7.5.4	Diskussion des vierten Bereichs <i>Fehler beim Experimentieren</i>	329
7.5.5	Diskussion des fünften Bereichs <i>Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern</i>	331
7.5.6	Diskussion des sechsten Bereichs <i>Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern</i>	332
7.5.7	Diskussion Hypothese 6.2.1	332
7.6	Limitationen	334
8	Schlussfolgerungen und Metainferenzen	339
8.1	Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern	341
8.2	Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten	345
8.3	Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der beiden Variablen über die Zeit	348
9	Ausblick	351
10	Abbildungsverzeichnis	355
11	Tabellenverzeichnis	357
12	Literaturverzeichnis	361

13 Anhang	379
Leitfaden für Workshopleitende und studentische Hilfskräfte zum Umgang mit Fehlern	379
Fragebogen Pretest	381
Fragebogen Posttest und Fragebogen Follow-up-Test	391
Interviewleitfaden	400
Transkriptionsregeln	403
Notationsregeln	405
Kategoriensystem	406
Kriterienraster Punktevergabe Quantifizierung Interviews ..	416

1 Einleitung

„Die Grenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis sind beweglich, sie stehen ebenso wenig wie irgendetwas anderes fest, das wir in der Natur vorfinden. Denn durch Versuch und Irrtum erfahren wir ja ständig, was wir noch nicht wussten, und verbessern unsere Annahmen in einem kumulativen Prozess, den wiederum niemand insgesamt überschaut. Unser Nichtwissen bezüglich unseres Nichtwissens ist also eine unüberwindliche, wenn auch verschiebbare Grenze der naturwissenschaftlichen Erkenntnis“ (Gabriel, 2022, S. 248–249).

Fehler gehören zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und tragen zur Konsolidierung des naturwissenschaftlichen Wissens bei, denn Fehler stellen Reflexionsmöglichkeiten über die naturwissenschaftliche Praxis selbst dar, beeinflussen methodische Entscheidungen und sind eine Quelle für die Falsifizierbarkeit des naturwissenschaftlichen Wissens. Dies lehrt uns auch die Naturwissenschaftsgeschichte. Doch damals wie heute werden Fehler in den Naturwissenschaften meist negativ konnotiert. Über gescheiterte Forschungen oder unerwartete Ergebnisse wird nur selten kommuniziert. Jedoch lehrt uns die Naturwissenschaftsgeschichte ebenfalls, dass Fehler die Naturwissenschaften vorantreiben können, denn durch das Entdecken und Verbessern von Fehlern schreitet naturwissenschaftliches Wissen voran. Seit der Entwicklung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert waren sich Naturwissenschaftler*innen bewusst, dass Fehler eine wichtige Rolle in den Naturwissenschaften spielen und dass diese als Bestandteile der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung angesehen werden sollten. Bereits Bacon (2017) definierte 1620 in seinem Gründungswerk der modernen Naturwissenschaften *Novum organum scientiarum* Fehler als Bestandteil der Erkenntnisgewinnung.

Mit dem Bewusstsein um die Bedeutung der Fehler in den Naturwissenschaften wiesen einige Naturwissenschaftler*innen im letzten Jahrhundert darauf hin, die Bedeutung und Stellung der Fehler in den Naturwissenschaften im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht zu vermitteln (z. B. Bassow, 1991; Nash, 1951). Der naturwissenschaftlich-technische Unterricht verfolgt das Ziel einer umfassenden natur-

wissenschaftlichen Grundbildung (Gräber & Nentwig, 2002). Durch die naturwissenschaftliche Grundbildung sollen die Schüler*innen „die Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik für ihr alltägliches Leben verstehen. Sie sollen in der Lage sein, naturwissenschaftliche Daten und Informationen mithilfe wissenschaftlicher Herangehensweisen bewerten zu können, um daraufhin evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen“ (Reiss, Sälzer, Schiepe-Tiska, Klieme & Köller, 2016, S. 48). Um diese Kompetenz zu erlangen, benötigen Schüler*innen unter anderem ein adäquates Verständnis über das Wesen der Naturwissenschaften nicht zuletzt über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozesse sowie die Merkmale des naturwissenschaftlichen Wissens (Baumert et al., 1999). Der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozess sowie die Merkmale des naturwissenschaftlichen Wissens werden in Anlehnung an McComas (2015) als Bestandteil des neuen Konstrukts Nature of Science (NOS) gesehen. Zu einem umfassenden Verständnis von NOS gehört nach Allchin (2004, S. 5) „auch das Verständnis, wie sich die Wissenschaft irren kann und wie solche Fehler selbst entdeckt und behoben werden“. Allchin (1995, 1999, 2000a, 2000b, 2001, 2003, 2004, 2009, 2011, 2012) leistete wichtige Arbeit, die Bedeutung der Fehler als Aspekt von NOS zu verstehen, und unterbreitete Vorschläge zur Vermittlung im Unterricht. Dennoch finden sich Fehler nur indirekt in aktuellen Ansätzen oder Modellen zu NOS wieder. Auch empirische Arbeiten rund um Fehler im Bereich NOS fehlen. Zudem hat auch die fachdidaktische empirische Forschung der Frage des Umgangs mit Fehlern bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Obwohl eine positive Fehlerkultur und ein konstruktiver Umgang mit Fehlern seit internationalen Vergleichsstudien wie dem *Programme for International Student Assessment* (PISA) zu einem Merkmal von gutem Unterricht zählen (L. Meyer, Seidel & Prenzel, 2006; OECD, 2021), wird den Fehlern in den Fächern Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT-Fächer) und vor allem im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht zu wenig Bedeutung beigemessen. Es reicht nicht, Fehler zuzulassen und lediglich zu identifizieren. Das Lernpotenzial des Fehlers sowie dessen Bedeutung in der Erkenntnisgewinnung sollten im

Fokus stehen. Digital-basierte Lernprozesse bieten geeignete Rahmenbedingungen, um eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern, denn die Schüler*innen machen in diesen Lernsettings viele Fehler. Die Fehler bzw. Folgen der Fehler werden jedoch sofort sichtbar, so dass sie ihre Lösung nicht mit einer Musterlösung vergleichen müssen. Außerdem können sie eine wichtige Methode der Erkenntnisgewinnung, die Trial-and-Error-Methode, meist gefahrlos anwenden. Zudem können sie mit Debugging-Aufgaben aus den Fehlern anderer lernen, was für Schüler*innen, die viele Fehler machen, oft motivierender ist (Michaeli & Romeike, 2019; Perscheid, Siegmund, Taeumel & Hirschfeld, 2016; Schmid et al., 2022; Schumacher, 2008).

Vor dem Hintergrund dieser Problematik liefert die vorliegende Arbeit im Kontext des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts erste empirische Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses und dem Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I. Nachgegangen werden unterschiedlichen Fragestellungen zum Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern, zur Wirkung einer Intervention auf diese Variablen, zur Stabilität und zur wechselseitigen Wirkung dieser Variablen über die Zeit sowie zum Verständnis von Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess. Darüber hinaus wurde untersucht, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation auswirkt.

Um die Forschungsfragen zu untersuchen, wurden Daten mittels Mixed-Methods in einem Längsschnittdesign mit Pre, Post- und Follow-up-Test erhoben. Zwischen Pre- und Posttest wurde eine Interventionsstudie im *Smartfeld*-Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt. Die Schüler*innen der Kontrollgruppe besuchten den regulären Workshop. Die Schüler*innen der Interventionsgruppe besuchten denselben Workshop, beschäftigten sich aber zudem vertieft mit Fehlern.

In der vorliegenden Arbeit wird im ersten theoretischen Teil (Kap. 2.1) anhand eines Beispiels aus der Naturwissenschaftsgeschichte aufgezeigt, wie naturwissenschaftliches Wissen entstehen kann bzw. wie Erkenntnisgewinnungsprozesse ablaufen können und welche Merkmale diese aufzeigen. Die Bedeutsamkeit der Fehler in der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung wird herausgearbeitet. Im nachfolgenden Kapitel (Kap. 2.2) wird die Stellung der Fehler in der Erkenntnisgewinnung seit der Entwicklung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert beispielhaft dargestellt. Bevor analysiert wird, ob Fehler heute als Bestandteil der Erkenntnisgewinnung angesehen werden und welche Bedeutung und Stellung Fehler im heutigen Verständnis der Naturwissenschaften haben (Kap. 2.4), wird zunächst auf Nature of Science eingegangen (Kap. 2.3). Nature of Science ist ein komplexer Begriff, welcher unterschiedlich definiert wird. Daher erfolgt eine Begriffsklärung für die vorliegende Arbeit. Es wird eine Gebrauchsdefinition gegeben und der gewählte Modellierungsansatz von McComas (2015) dargestellt, um inhaltliche Klarheit über NOS zu bringen. Anschließend werden die Bemühungen von Allchin (1995, 1999, 2000a, 2001, 2003, 2004, 2009, 2011, 2012), Fehler als Bestandteile von NOS zu betrachten, dargestellt und der Modellierungsansatz von McComas (2015) wird mit einem Fokus auf die Bedeutung und Stellung der Fehler analysiert (Kap. 2.4). Darauf folgend wird NOS im Lehr-Lern-Kontext betrachtet (Kap. 2.5). Dabei wird zuerst dargestellt, dass NOS bzw. das Verständnis von NOS Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung ist. Anschließend werden die Kompetenzstufen des schweizerischen Lehrplans Volksschule (Kindergarten bis 9. Klasse) zu NOS abgebildet und analysiert, ob Fehler als NOS-Aspekte enthalten sind. Zudem werden die im Lehrplan vorgeschlagenen impliziten, expliziten und historischen Zugänge diskutiert und Möglichkeiten zur Thematisierung von Fehlern im Rahmen der Vermittlung von NOS ausgearbeitet. Abschließend werden in diesem Kapitel Schüler*innenvorstellungen über NOS sowie deren Entwicklung dargestellt und Annahmen über Schüler*innenvorstellungen zu Fehlern als NOS-Bestandteile getroffen. Im nachfolgenden Kapitel (Kap. 2.6) werden Fehler im (Natur und Technik)Lehr-Lern-

Kontext definiert und anschließend wird der Umgang mit Fehlern dargestellt. Dabei werden Merkmale eines positiven Umgangs mit Fehlern im Unterricht präsentiert sowie Zusammenhänge zwischen Fehlern und Emotionen, Motivation und Selbstwirksamkeitserwartung aufgezeigt. Zudem wird allgemein vorgestellt, wie ein konstruktiver Umgang mit Fehlern im Unterricht grundsätzlich gefördert werden kann. Für Lehrpersonen ist es wichtig, mögliche Fehlertypen zu kennen und zu erkennen, um Fehler konstruktiv als Lerngelegenheit zu nutzen. Dieser Umgang mit Fehlern kann auf die MINT-Fächer übertragen werden. Dabei gilt es, wie im anschließenden Kapitel (Kap. 2.7) ausgeführt, die Besonderheiten der einzelnen Fächer zu berücksichtigen. Daher werden die Besonderheiten der MINT-Fächer und mögliche Fehlertypen dargestellt. Im letzten Kapitel des Theorieteils (Kap. 2.8) werden das Verständnis von NOS und der Umgang mit Fehlern miteinander in Beziehung gesetzt. Da es noch keine empirischen Untersuchungen rund um Fehler als NOS-Aspekte gibt, wurden die Variablen im Modell der Control-Value Theory of Achievement Emotions (CVTAE) von Pekrun (2006) verortet.

Aus der Theorie und dem Forschungsstand werden die Forschungsfragen und Hypothesen abgeleitet, um erste empirische Erkenntnisse zur Forschungslücke zu liefern (Kap. 3). Es wird der Frage nachgegangen, inwiefern das Verständnis von NOS-Aspekten den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern beeinflusst. Außerdem wird untersucht, ob sich das Verständnis von NOS-Aspekten sowie der Umgang mit Fehlern durch eine Intervention positiv beeinflussen lassen und inwiefern die Wirkung noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist. Zudem wurde untersucht, wie stabil sich das Verständnis von NOS-Aspekten und der Umgang mit Fehlern über die Zeit zeigen und welche wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit festgestellt werden kann. Zuletzt wurde der Frage nachgegangen, welches Verständnis Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess haben. In einem zusätzlich zur Dissertation verfassten Artikel wurde von Schmid et al. (2022) im Rahmen der Studie untersucht, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation auswirkt.

Im Methodenkapitel (Kap. 4) werden der Untersuchungsraum, das Schüler*innenlabor *Smartfeld – Technologie und Kreativität* und damit einhergehend der Schüler*innen-Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* präsentiert. Als Nächstes wird das Forschungsdesign mit der Interventionsstudie im Schüler*innenworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* und der Datenerhebung mittels Mixed-Methods in einem Längsschnittdesign mit Pre-, Post- und Follow-up-Test vorgestellt.

In der Analysemethodik (Kap. 5) werden die Pilotierung der Interventionsstudie sowie die Pilotierung und Validierung des Fragebogens präsentiert und eine Übersicht über deskriptive und interferenzstatistische Analysen gegeben. Zudem werden die Pilotierung der Interviews und die Analyse der Interviews mit der Transkription, der qualitativen Inhaltsanalyse der Quantifizierung und der Überprüfung der Übereinstimmung bei der Quantifizierung (Interrater-Reliabilität) beschrieben.

Anschließend werden die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Daten dargestellt (Kap. 6), diskutiert und Limitationen dargelegt (Kap. 7). Die quantitativen und qualitativen Ergebnisse werden zunächst separat diskutiert, bevor die qualitativen Ergebnisse zum besseren Verständnis der quantitativen Daten hinzugezogen und abschließend gemeinsame Schlussfolgerungen zum NOS-Verständnis und dem Umgang mit Fehlern gezogen werden (Kap. 8).

Das letzte Kapitel (Kap. 9) gibt einen Ausblick auf weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um den Zusammenhang des NOS-Verständnisses und des Umgangs mit Fehlern weiter zu schärfen.

2 Theorie und Forschungsstand

2.1 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung

In der Mitte des 19. Jahrhunderts fand ein Disput zwischen den beiden Naturwissenschaftlern Félix-Archimède Pouchet und Louis Pasteur statt. Im Zentrum des Disputs stand die Frage, ob mikroskopische Lebewesen (Mikroorganismen) spontan entstehen oder ob deren Vorkommen auf Vorfahren bzw. Eltern zurückzuführen sind. Pouchet war der Auffassung, dass Leben spontan aus unbelebter Materie entstehen kann. Diese Auffassung der Urzeugung von Mikroben vertraten die Naturwissenschaften jahrhundertlang (Latour, 1994). Man war sich sicher, „dass sogar Mäuse aus einem Getreidefass hervorkommen können, dessen Öffnung [...] mit einem schmutzigen Hemd verstopft [wurde]“ (Latour, 1994, S. 755).

Pasteur hingegen war kein Verfechter dieser Auffassung und wollte die Naturwissenschaften von diesem Irrglauben befreien. Er vertrat die gegenteilige Meinung, dass Lebewesen, wenn auch mikroskopisch klein, nicht ohne lebende Erzeuger entstehen können (Latour, 1994). Zu dieser Auffassung gelangte Pasteur durch die Beobachtungen seiner Experimente zur Gärung. Aus den Experimenten leitete er ab, dass Lebewesen, konkret Mikroorganismen, die Ursache jeder Gärung sind. Er glaubte, dass der Staub in der Luft die Mikroben trägt und dieser die Mikroben in die vergärbaren Flüssigkeiten bringt, denn erst durch den Kontakt mit den Mikroorganismen beginnen diese Flüssigkeiten (z. B. ein Hefeaufguss) zu gären (de Kruif, 1928; Köhler, 2005).

Die beiden Naturwissenschaftler versuchten durch unterschiedliche Experimente ihren Standpunkt durchzusetzen. Pasteur ließ die Experimente von Pouchet wie Taschenspielertricks aussehen und behauptete, dass er unsachgemäß gearbeitet und dadurch die Proben kontaminiert hatte. Pasteur „zaubert nicht das Leben aus einem Kolben oder die Mäuse aus seinen Gefäßen“ (Latour, 1994, S. 756). Er demonstrierte durch seine Experimente, dass die Mikroorganismen entweder von außen eingeführt wurden oder bereits im bzw. auf dem verwendeten Material waren. Pouchet war jedoch davon überzeugt, dass er alle möglichen Vorsichtsmaß-

nahmen getroffen hatte, um dies zu vermeiden. Daraufhin führte Pouchet angeblich dasselbe Experiment von Pasteur in einer anderen Umgebung durch und schien wiederum die Urzeugung von Mikroben zu beweisen. Nun versuchte Pasteur mit seiner Theorie, dass selbst mikroskopisch kleine Lebewesen nicht ohne Erzeuger entstehen können, dieses Erkenntnis zu widersprechen, denn die Theorie von Pouchet, dass Leben spontan aus unbelebter Materie entstehen kann, ist stets verfälscht worden, da Pouchets Kulturen durch spontane Kontaminationen unbrauchbar gemacht wurden. So begründete Pasteur, dass man seine Theorie, das heißt die Theorie Pasteurs, einer Theorie, die Nichtexistenz behauptet, vorziehen sollte (Latour, 1994). Pouchet verlangte schließlich nach einer Untersuchungskommission der wissenschaftlichen Akademie, die sich ihrer beider und der Frage, woher Mikroben kommen, annehmen soll. Die wissenschaftliche Akademie, in welcher Freunde von Pasteur vertreten waren, forderte Pasteur auf, ein Experiment zu wiederholen, bei dem die Ergebnisse vorhersehbar und konsistent sind. Dagegen bat man Pouchet, seine Bemühungen einzustellen. Diese Aufforderung bewirkte, dass Pouchet sich aus der Wissenschaft zurückzog und die „offizielle Wissenschaft“ verurteilte. Die Erkenntnis von Pasteur, dass Lebewesen nicht aus dem Nichts entstehen können, sondern durch Vorfahren auf die Welt kommen, setzte sich durch (Latour, 1994).

Im Zentrum des Disputs zwischen Pouchet und Pasteur stand die Uneinigkeit über das Wissen zur Entstehung von mikroskopischen Lebewesen. Pouchet stützte sich auf die seit Jahrhunderten vorherrschende Auffassung der Naturwissenschaften, dass Mikroorganismen spontan entstehen können. Wie auch heute noch hielt man das Wissen so lange für korrekt, bis dieses durch neue Erkenntnisse widerlegt wurde. Auch Pasteur glaubte anfangs aufgrund von Nichtwissen an diese Erkenntnis, war aber offen für neue Entdeckungen. Daher ließ er sich durch die Beobachtungen in seinen Experimenten zur Gärung überzeugen, dass vergärbare Flüssigkeiten erst durch den Kontakt mit Mikroorganismen zu gären beginnen. Diese Beobachtungen waren folglich der Ausgangspunkt, das Wissen zur Urzeugung der Mikroben anzuzweifeln. Er versuchte, dieses Wissen durch wiederholbare Experimente zu widerlegen,

denn empirische Nachweise waren erforderlich, damit neues Wissen als richtig angesehen wurde. Der Disput zeigt aber auf, dass wiederholbare Experimente und damit einhergehend korrekte und nachvollziehbare Methoden nicht ausreichten, die neuen Erkenntnisse zu etablieren. Die Auffassung von Pasteur konnte sich letztlich aufgrund von sozialen Faktoren durchsetzen.

Anhand dieses Beispiels kann aufgezeigt werden, wie naturwissenschaftliches Wissen entstehen kann, das heißt, wie Erkenntnisgewinnungsprozesse ablaufen können. Es wurde ersichtlich, dass Merkmale wie die Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens, der Einfluss von Nichtwissen, die Widerlegbarkeit, die Forderung eines empirischen Nachweises, das Bedürfnis einer nachvollziehbaren Methode sowie soziale Einflüsse in der Erkenntnisgewinnung miteinander verzahnt sind.

Es gibt noch viele weitere Ereignisse aus der Naturwissenschaftsgeschichte, an welchen sich die Erkenntnisgewinnung sowie deren Merkmale exemplarisch aufzeigen lassen. Im Zentrum dieser Beispiele stehen sehr oft, wie dies auch am Exempel des Disputs zwischen Pouchet und Pasteur der Fall war, Fehler. Meistens wird erkannt, dass bestehendes Wissen falsch oder fehlerhaft ist, und Fehler in der Erkenntnisgewinnung werden aufgezeigt. So entwickeln sich die Naturwissenschaften oft über das Finden und Verbessern von Fehlern weiter.

Nach Kuhn (2020), der 1962 nicht von Fehlern, sondern von Anomalien sprach, kann die Entdeckung bzw. Richtigstellung einer Anomalie zu einem Paradigmenwechsel führen. Als Anomalie bezeichnet Kuhn (2020, S. 66) die Erkenntnis, „dass die Natur in irgendeiner Weise die von einem Paradigma erzeugten, die normale Wissenschaft beherrschenden Erwartungen nicht erfüllt hat“. Als Paradigmen bezeichnet er „bestehende Erklärungsmodelle, an denen und mit denen die wissenschaftliche Welt bis dahin gearbeitet hat“¹ (Kuhn, 2020, S. 2). Ein

¹ Nach Kuhn (2020, S. 74) „sind aber nicht alle Theorien Paradigmatheorien. Sowohl während der Paradigmaperioden wie auch während der Krisen, die zu weitreichenden Paradigmenwechseln führen, entwickeln Wissenschaftler gewöhnlich viele spekulative und vorläufige Theorien, die auch den Weg zu Entdeckungen weisen können. Oft jedoch ist eine solche Entdeckung nicht ganz die aufgrund spekulativer und heuristischer

Paradigmenwechsel resultiert nach Kuhn (2020) aus einer wissenschaftlichen Revolution. So entwickelt sich die Wissenschaft seiner Meinung nach durch eine wissenschaftliche Revolution weiter, welche in einem Paradigmenwechsel endet.

Ein solcher Paradigmenwechsel fand beispielsweise Ende des 18. Jahrhunderts statt, als die Phlogistontheorie durch die Oxidationstheorie von Antoine Lavoisier abgelöst wurde.² Dieser Paradigmenwechsel war ein bedeutender Schritt in der sogenannten chemischen Revolution. Die Phlogistontheorie, welche auf den Arbeiten der beiden Chemiker Johann Joachim Becher und Georg Ernst Stahl aufbaute und von Joseph Priestley vertreten wurde, erklärte den Verbrennungsprozess und wurde an den Universitäten gelehrt. Unter Phlogiston wurde ein *Etwas* verstanden, das bei Verbrennung von brennbaren Körpern entweicht und bei Erwärmung in diese eindringt (Conant, 1957). Lavoisier vermutete jedoch, dass bei der Phlogistontheorie etwas nicht stimmte. Zudem nahm er an, dass „brennbare Körper irgendeinen Teil der Atmosphäre absorbieren“ (Kuhn, 2020, S. 69). Zu diesen Annahmen kam er, da er Experimente durchführte, „die nicht die Ergebnisse erbrachten, welche nach dem Phlogiston-Paradigma zu erwarten waren“ (Kuhn, 2020, S. 70). Dies führte dazu, dass Lavoisier dieser Anomalie nachging und folglich dieses *Etwas* der Phlogistontheorie durch unterschiedliche Experimente³ immer weiter konkretisierte. Schließlich ersetzte er 1776 dieses *Etwas* durch „ein[en] Bestandteil der Atmosphäre, der die Verbrennung unterstützt“ (Conant, 1957, S. 88). Die Entdeckung des Sauerstoffs bzw. die Entdeckung, dass Sauerstoff ein Bestandteil der Atmosphäre ist, führte zum Umsturz der Phlogistontheorie und somit zu einem Paradigmenwechsel (Conant, 1957; Kuhn, 2020).

Hypothesen erwartete. Erst wenn Experiment und heuristische Theorie beide so weit artikuliert werden, dass sie übereinstimmen, kann es zur Entdeckung kommen und die Theorie zu einem Paradigma werden.“

² Es gibt auch Vertreter, wie beispielsweise Allchin (1992), die das gewählte Beispiel nicht als Paradigmenwechsel ansehen. Allchin (1992) ist der Ansicht, dass die Phlogistontheorie und die Oxidationstheorie komplementäre Erklärungen für die Verbrennung darstellen.

³ Für eine ausführliche Beschreibung der Experimente s. Conant (1957).

Das Erkennen einer Anomalie oder, wie wir das heute nennen würden, eines Fehlers, leitete einen Erkenntnisgewinnungsprozess ein, der neues Wissen generierte. Ein Erkenntnisgewinnungsprozess, wie dieser auch am Disput zwischen Pouchet und Pasteur aufgezeigt wurde, dauerte meist mehrere Jahre, erfolgte über viele Versuche und Irrtümer, erforderte nachvollziehbare und wiederholbare Experimente und eine Forschungsgemeinschaft, die diese neuen Erkenntnisse stützte.

Solche grundlegenden Paradigmenwechsel, wie am Beispiel der Oxidationstheorie in der chemischen Revolution aufgezeigt wurde oder wie sie bei der Widerlegung der Idee einer Scala Naturae zugunsten einer evolutionistischen Darstellung der biologischen Vielfalt mit Darwin stattfanden, kommen in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung jedoch selten vor. Viel häufiger entwickeln sich die Naturwissenschaften in kleineren Schritten weiter (Harms, 2022). Es ist zudem möglich, dass ein altes Paradigma über eine bestimmte Zeit neben einem neuen Paradigma bestehen kann und beide ihre Richtigkeit haben können. Es ist auch nicht immer so, dass die beiden Paradigmen völlig konträr und unvereinbar sind (Mayr, 1998). Jedoch stehen auch bei kleineren naturwissenschaftlichen Weiterentwicklungen oft die Entdeckung und das Verbessern von Fehlern im Zentrum.

Mit dem Wissen um die Bedeutsamkeit der Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung stellt sich folglich die Frage, welche Stellung Fehler in der Erkenntnisgewinnung seit der Entwicklung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert hatten und auch heute noch haben.

2.2 Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung

Das 17. Jahrhundert war die Zeit der Schaffung elementarer Voraussetzungen für die Entwicklung der heutigen Naturwissenschaften. Im Fokus stand die Natur, welche genauer untersucht und neu entdeckt wurde (Drews, 2010). „Durch Reisen in fremde Länder und Kontinente wurde eine große Vielfalt neuer Pflanzen und Tiere entdeckt und beschrieben.

Die Anatomie des Menschen, aber auch die von Tieren und Pflanzen, wurde neu untersucht. Technik und Ingenieurswesen wurden entwickelt“ (Drews, 2010, S. 23). Neue Methoden wie das Beobachten, das Experimentieren oder das Sammeln von Fakten zur Erklärung der Natur wurden eingeführt. Außerdem wurde das zu dieser Zeit bestehende Wissen kritisch hinterfragt (Drews, 2010). Der religiöse Glaube und die christliche Kirche hatten zu jener Zeit aber noch immer einen bedeutenden Einfluss auf die Naturwissenschaften, wodurch auch die wissenschaftlichen Erkenntnisse noch stark theologisch geprägt waren (z. B. Haudel, 2021). Die Lektüre der Werke von Francis Bacon, der Royal Society, René Descartes, Ludwik Fleck, Gaston Bachelard und Karl R. Popper⁴ geben uns Hinweise auf die Bedeutung und Stellung der Fehler seit der Entwicklung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert.

In Francis Bacons Grundlagenwerk der modernen Naturwissenschaften *Novum organum scientiarum* von 1620 befasste sich Bacon (2017) mit der Bedeutung der Fehler in der Erkenntnisgewinnung. Er beschrieb, dass die Methoden und die Ergebnisse in den Naturwissenschaften fehlerhaft sein können. Bacon (2017) war sich bewusst, dass Fehler zum Erkenntnisgewinnungsprozess gehören, dass Fehlschläge sogar häufiger vorkommen als das Erlangen der gesuchten Erkenntnis. Er wunderte sich, dass Irrtümer und dessen Ursachen über so viele Zeitalter unentdeckt bzw. unbekannt waren, sah es aber auch als Zufall an, dass die Irrtümer und dessen Ursachen Gegenstand seiner Gedanken wurden (Robertson, 1905). Bacon (2017) beschrieb in seinem Werk vier Vorurteile (Idole), die im Erkenntnisgewinnungsprozess hinderlich sein können und zu fehlerhaften Erkenntnissen (Irrtümer) führen können. Diese vier Idole sind die *Idola Tribus*, die *Idola Specus*, die *Idola Fori* und die *Idola Theatri*. Mit der *Idola Tribus* beschrieb er die menschliche Natur als Fehlerquelle. Fehlerhaft können die Sinne des Menschen sein,

⁴ Es wäre nicht möglich, einen kompletten Abriss über die Bedeutung des Fehlers in der Naturwissenschaftsgeschichte zu geben. Daher wurde dessen Bedeutung und Stellung seit dem 17. Jahrhundert beispielhaft aufgezeigt.

da diese versagen und täuschen können. Mit der *Idola Specus* wies er darauf hin, dass Menschen Vorurteile haben können, welche durch die Erziehung, das Umfeld oder andere äußere Umstände aufgebaut werden können. Diese Vorurteile können unbewusst das naturwissenschaftliche Arbeiten und folglich die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse beeinflussen. Die *Idola Fori* wies auf Sprach- und Kommunikationsprobleme hin, welche zu Missverständnissen führen können. Die *Idola Theatri* besagte, dass Erkenntnisse aus Irrlehren der vorangegangenen Zeit entstehen können (Bacon, 2017).

Für die Royal Society war Bacon „eine Quelle der Inspiration, um eine empirische Herangehensweise an die Natur zu fördern“ (Hall, 2002, S. 11). So definierte die Royal Society im Jahr 1660 das Verbessern von Fehler als Bestandteil der Erkenntnisgewinnung.

„The purpose of the society sprat defined as to make faithful records, of all the works of nature or art, which can come within their reach that so the present age, and posterity may be able to put a mark on the errors, which have been strengthened by long prescription: to restore the truths, that have lain neglected: to push on these, which are already known, to more various uses: and to make the way more passable, to what remains unreveal'd.“ (Hall, 2002, S. 12)

Auch für René Descartes (1955) war klar, dass Fehler bei der Erkenntnisgewinnung gemacht werden können. Da er sich vor Restriktionen durch den Klerus fürchtete, waren seine Erkenntnisse im Werk *Prinzipien der Philosophie* (Original: *Principia philosophiae*, 1644) theologisch geprägt. So wurde Gott als die wahre Ursache von allem, was ist oder sein kann, gesehen. Dennoch wurde nicht Gott als die wahre Ursache von Irrtümern angesehen, sondern sich irrende Menschen. Analog zur *Idola Specus* von Bacon (2017) schrieb auch Descartes (1955), dass Menschen sich irren können, da Vorurteile durch die Erziehung, das Umfeld oder andere äußere Umstände aufgebaut werden können. Er führte aus, dass das Problem darin besteht, dass der menschliche Geist bereits seit der Geburt lernt, obwohl er zu diesem Zeitpunkt noch keine Vernunft besitzt und daher in der Kindheit mit Vorurteilen beladen wird. Aus diesem Grund sollte der Mensch allem gegenüber misstrauisch sein und alles anzweifeln. Des Weiteren sollte Zweifelhaftes immer als falsch an-

genommen werden, denn nur so kann sich der Mensch vor Irrtümern schützen (Descartes, 1955).

Auch Ludwik Fleck (2019) befasste sich in seinem Werk *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache – Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv* (1935) mit Fehlern. Für ihn gehörten Fehler zum Erkenntnisgewinnungsprozess. Er bezeichnete den Forschungsprozess als Zickzackweg bestehend aus Zufällen, Irrwegen und Irrtümern (Fleck, 2019). Er sah „das Misslingen vieler Versuche und die begangenen Irrtümer [als] Baumaterial der wissenschaftlichen Tatsache“ (Fleck, 2019, S. 128). Nach Fleck (2019) können neue Entdeckungen oft nur gemacht werden, wenn bereits etablierte Ansichten, Theorien oder Paradigmen in Frage gestellt werden. Entdeckungen müssen demnach manchmal verkannt, verleugnet oder übersehen werden, da sie im Widerspruch zu bestehendem Wissen stehen können. Daher sind ihm zufolge neue Entdeckungen immer mit Irrtümern verbunden.

Gaston Bachelard postulierte in seinem Werk *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes – Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis* (Original: *La formation de l'esprit scientifique – Contribution à une psychoanalyse de la connaissance objective*, 1938), dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse nicht von Vorgegebenheiten ausgehen, sondern durch die „Zerstörung der Gegenstände der Erfahrung“ konstruiert oder geschaffen werden (Lepenies, 2016, S. 13). So ging Bachelard (2016) davon aus, dass Fortschritt oft darin besteht, sich von früherem Wissen abzusetzen oder es zu überwinden und die neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse folglich aus Irrtümern entstehen. Daher kann die Wissenschaft nach Bachelard (2016) nur durch Negation und Falsifikation voranschreiten.

Bachelard (2016) kritisierte an den Naturwissenschaften der vergangenen Jahrhunderte, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse als richtig angenommen wurden und daher nicht weiter geforscht wurde. Dies führte seiner Meinung nach dazu, dass der Fortschritt der naturwissenschaftlichen Erkenntnis verzögert und nützliche Forschung vorzeitig abgebrochen wurde. Außerdem blockierte das Festhalten an allgemeinen Erkenntnissen das naturwissenschaftliche Denken und folglich die Konstruktion des naturwissenschaftlichen Geistes (Bachelard, 2016).

Analog zum Erkenntnisgewinnungsprozess konstruierte sich auch der naturwissenschaftliche Geist nach Bachelard erst durch die Überwindung der Irrtümer (Lepenies, 2016). So war seiner Meinung nach ein objektives Vorgehen bei der Erkenntnisgewinnung erst möglich, wenn man sich bewusst war, dass es innere und anfängliche Irrtümer, d. h. Irrtümer im Denken und Verstehen eines Individuums, gibt und man sich zu seinen intellektuellen Fehlern bekennt (Bachelard, 2016). Zu den Irrtümern gehörte nach Bachelard (2016) beispielsweise der Glaube, dass es in der naturwissenschaftlichen Kultur keine Beschränkungen und Grenzen gibt, Erkenntnis irgendwann vollständig ist, einzelne Erkenntnisse beispielsweise auf allgemeine Prinzipien oder nicht verwandte Phänomene übertragen werden, oder umgekehrt, dass das, was im Großen wahr ist, auch im Kleinen als wahr angenommen wird. Des Weiteren war es nach Bachelard (2016) falsch, so zu denken, wie man sieht. Nur weil Staub an einer elektrischen Fläche haftet, heißt das noch nicht, dass Elektrizität ein Klebstoff ist. Der Irrtum, dass *man denkt, was man sieht*, lässt Wissenschaftler*innen falsche Schlussfolgerungen ziehen (Bachelard, 2016).

Die Auffassung, dass Erkenntnisse aus Irrtümern entstehen und sich der naturwissenschaftliche Geist „als ein Komplex korrigierter Irrtümer konstruiert hat“ (Bachelard, 2016, S. 344), ist eine *Philosophie des Neins*. Diese Philosophie wurde sowohl von Bachelards Tätigkeit als Naturwissenschaftler als auch von seiner Tätigkeit in der Schule geprägt. Neben Naturwissenschaftler*innen kritisierte er auch Lehrpersonen, die sich als allwissende und herrschende Meister*innen betrachteten, denn diese Ansicht führte seiner Meinung nach dazu, dass diesen Lehrpersonen der Sinn für den Misserfolg fehlte. Er kritisierte außerdem, dass der Unterricht es unterlasse, „die psychologische Erfahrung menschlichen Irrs zu vermitteln“ (Bachelard, 2016, S. 35). Bachelard sah sich selbst nicht als Meister, sondern als immerwährenden Lernenden an, denn eine ununterbrochene Bildung stellte für ihn „die Grundlage einer modernen wissenschaftlichen Bildung dar“ (Bachelard, 2016, S. 62).

Nach dem Werk *Alles Leben ist Problemlösen – Über Erkenntnis, Geschichte und Politik* (1996) von Karl R. Popper (2018) beginnen die

Naturwissenschaften mit Problemen, welche sie durch Theorien zu lösen versuchen. Doch sind ihm zufolge die meisten Theorien falsch und/oder unüberprüfbar. So werden nach Popper (2018, S. 118) „die wertvollen überprüfbaren Theorien [...] nach Irrtümern abgesucht“. Die Irrtümer sollten gefunden und eliminiert werden, denn die Wissenschaft besteht nach Popper (2018, S. 118) „aus wilden, oft unverantwortlichen Ideen, die sie unter eine scharfe Kontrolle der Fehlerkorrektur setzt“.

In einem seiner weiteren Werke *Vermutungen und Widerlegungen – Das Wachstum der Wissenschaftlichen Erkenntnis* (1963) beschrieb Popper (2008) die Falsifizierbarkeit oder Widerlegbarkeit bzw. Überprüfbarkeit als das Kriterium der Wissenschaftlichkeit einer Theorie. So ist eine Theorie nach Popper (2008, S. 199) „genau dann wissenschaftlich, wenn sie ‚(empirisch) falsifizierbar‘ ist, wenn sie also empirisch als falsch erwiesen werden kann“. Entscheidend hierbei ist jedoch lediglich, dass die Falsifikation einer Theorie möglich ist, sie muss nicht tatsächlich scheitern oder widerlegt werden. Durch die Falsifikation kann gelernt werden, dass eine Theorie falsch ist, aber auch, warum diese falsch ist (Popper, 2008). Außerdem gelangt man über die Falsifikation zu einem neuen und präziseren Problem, welches nach Popper (2018, S. 118) „der echte Ausgangspunkt einer neuen wissenschaftlichen Entwicklung“ ist. Folglich ist die Aufgabe der Naturwissenschaft, Fehler zu finden und auszubessern. Er nennt die bewusste Suche nach Fehlern die Methode der Naturwissenschaft (Popper, 2018).

Francis Bacon, die Royal Society, René Descartes, Ludwik Fleck, Gaston Bachelard und Karl R. Popper heben hervor, dass Fehler seit dem 17. Jahrhundert eine wichtige Rolle in den Naturwissenschaften spielen und dass diese als Bestandteile der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung angesehen werden.

Als einer der Vorreiter identifizierte Bacon (2017) mit den vier Idolen bedeutende Fehlerquellen, die im Erkenntnisgewinnungsprozess hinderlich waren und zu fehlerhaften Erkenntnissen führen konnten. Daraufhin definierte die Royal Society das Verbessern von Fehlern als

Bestandteil der Erkenntnisgewinnung (Hall, 2002). Descartes (1955) zeigte auf, dass Menschen und somit Naturwissenschaftler*innen Fehler machen können. Da naturwissenschaftliches Wissen ein Produkt von Menschen ist, solle folglich auch bestehendes Wissen angezweifelt werden (Descartes, 1955). Fleck (2019) sah Fehler als Baumaterial der wissenschaftlichen Tatsache und den Forschungsprozess als Zickzackweg bestehend aus Zufällen, Irrwegen und Irrtümern. Die Naturwissenschaftsgeschichte von Bachelard (2016) stellte den Irrtum sowohl bei der Erkenntnisgewinnung als auch bei der Bildung des naturwissenschaftlichen Geistes ins Zentrum. Popper vertrat den kritischen Rationalismus, der aufmerksam auf kritische Argumente hört und aus Fehlern lernt (Ziegler, 2019).

Alle diese Sichtweisen haben auch heute noch ihre Richtigkeit. So machen Menschen bzw. Naturwissenschaftler*innen auch heute Fehler, da ihre Sinne versagen oder täuschen (nach der *Idola Tribus* von Bacon 2017). Außerdem werden Menschen bzw. Naturwissenschaftler*innen noch immer durch äußere Einflüsse beeinflusst (nach der *Idola Specus* von Bacon 2017). Zudem gibt es auch heute noch Fehler, die aus Sprach- und Kommunikationsproblemen (nach der *Idola Fori* von Bacon 2017) sowie aus fehlerhaften Erkenntnissen aus der vorgegangenen Zeit entstehen (nach der *Idola Theatri* von Bacon 2017). Wissenschaftler*innen vertreten außerdem die Auffassung, dass bestehendes Wissen angezweifelt werden soll (nach Descartes 1955) und der Erkenntnisgewinnungsprozess nicht fehlerfrei abläuft (nach Fleck 2019). Die Erkenntnisse von Bachelard (2016) können sogar auf den naturwissenschaftlichen Unterricht übertragen werden, denn der heutige naturwissenschaftliche Unterricht verfolgt das Ziel der Bildung bzw. Förderung des naturwissenschaftlichen Geistes der Schüler*innen. Der kritische Rationalismus von Popper konnte sich in den heutigen Naturwissenschaften nicht durchsetzen (Ziegler, 2019), jedoch ist die Falsifizierbarkeit auch heute noch ein wichtiges Konzept der Naturwissenschaften.

Ob das Verbessern von Fehlern heute als Bestandteil der Erkenntnisgewinnung angesehen wird, wie dies bereits 1660 von der Royal Society

definiert wurde, und welche Bedeutung und Stellung Fehler im heutigen Verständnis der Naturwissenschaften haben, wird im nachfolgenden Kapitel 2.3 dargestellt. Der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozess sowie die Merkmale des naturwissenschaftlichen Wissens sind heute Bestandteile von Nature of Science.

2.3 Nature of Science

Der Begriff Nature of Science kommt aus dem Angloamerikanischen und wird auch im deutschsprachigen Raum verwendet. Im deutschsprachigen Raum wird außerdem von *Natur der Naturwissenschaften*, *Wissen über Naturwissenschaften*, *Kultur der Naturwissenschaften* (Heering & Kremer, 2018) oder vom *Wesen der Naturwissenschaften* (Höttecke, 2001b) gesprochen.

NOS bezeichnet ein Metawissen über Naturwissenschaften, welches erkenntnistheoretische, wissenschaftstheoretische, wissenschaftsethische, wissenschaftshistorische und soziologische Aspekte beinhaltet (Hofheinz, 2010). Dieses Metawissen wird von Naturwissenschaftsdidaktiker*innen, Wissenschaftsphilosoph*innen, Wissenschaftshistoriker*innen, Soziolog*innen und Epistemolog*innen unterschiedlich beschrieben (Abd-El-Khalick, Bell & Lederman, 1998). Eine exakte Definition von NOS gibt es nicht und kann es auch zukünftig nicht geben. Vielmehr handelt es sich bei den in der Literatur gefundenen Definitionen um Worterklärungen, welche als Gebrauchsdefinition gesehen werden sollten (Hofheinz, 2010). Eine Gebrauchsdefinition, über welche sich nach McComas (2015) viele einig sind, lautet: Nature of Science ist „eine umfassende Beschreibung dessen [...], was Wissenschaft ist, wie sie funktioniert, wie Wissenschaftler*innen als soziale Gruppe agieren und wie die Gesellschaft selbst wissenschaftliche Bestrebungen lenkt und auf diese reagiert“ (McComas, Clough & Almazroa, 1998, S. 3). Die Gebrauchsdefinition von McComas (2015) gibt noch keine inhaltliche Klarheit. Diese versuchen unterschiedliche Modellierungsansätze wie der Minimalkonsensansatz, der Nature of Whole Science-Ansatz, der Family Resemblance Approach-Ansatz oder der Narrative-

Ansatz zu liefern (Heering & Kremer, 2018). Der Minimalkonsensansatz ist der älteste Ansatz, welcher mit Konsenslisten arbeitet (z. B. Norm G. Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002; McComas, Almazroa & Clough, 1998; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Duschl, 2003). Diese Konsenslisten beinhalten unterschiedliche NOS-Aspekte. Neumann und Kremer (2013, S. 215) fassen die Aspekte, die in unterschiedlichen Konsenslisten vorkommen, zu den Schlagwörtern „Vorläufigkeit, empiriebasierte Evidenz, wissenschaftliche Gütekriterien von Forschung, Erkenntnisgewinn als Ziel, Kreativität, soziale Eingebundenheit, Zusammenspiel mit Technik, Naturwissenschaften im Gefüge von Gesellschaft und Kultur, Vielfältigkeit graduelle Entwicklungen, Globalität, Gütekriterien von Veröffentlichungen, Theorien und Gesetze sowie Anomalitäten“ zusammen.

Auf Grundlage des Minimalkonsensansatzes wurden verschiedene Testinstrumente entwickelt, mit welchen sich das Verständnis der Schüler*innen von unterschiedlichen NOS-Aspekten erfassen lassen (z. B. Harrison et al., 2015; J. S. Lederman et al., 2013; Norm G. Lederman et al., 2002). Der Minimalkonsensansatz wird heute häufig von Vertreter*innen anderer Ansätze aufgrund der vereinfachten Darstellung von NOS kritisiert (z. B. Allchin, 2011; Erduran & Dagher, 2014). Neure Ansätze wie der Family Resemblance Approach oder der Nature of Whole Science-Ansatz bringen einige Schwierigkeiten mit sich. So ist beispielsweise der Nature of Whole Science-Ansatz wenig fassbar und daher schwierig im Unterricht zu behandeln. Zudem kann das Verständnis von NOS mit diesem Ansatz (noch) nicht empirisch erfasst werden (L. Arndt, Billion-Kramer, Wilhelm & Rehm, 2020).

Aus diesen Gründen wurde trotz der Kritik am Minimalkonsensansatz ein solcher als Grundlage für die vorliegende Studie gewählt, nämlich ein neuerer Ansatz von McComas (2015). In seinem überarbeiteten Modell stellt er die Inhalte von NOS mit drei sich überschneidenden Dimensionen *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft*, *menschliche Elemente der Wissenschaft* und *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* dar (Abbildung 1). Mit diesem Modell unterbreitet er Vorschläge zu den Kernideen von NOS, welche im naturwissenschaftlichen Unterricht ver-

mittelt werden sollten. Dabei berücksichtigt er unter anderem Konsenslisten von Norm G. Lederman et al. (2002), Osborne et al. (2003) sowie der Next Generation Science Standards (NGSS) (McComas, 2015). Der Vorteil des Minimalkonsensansatzes von McComas (2015) ist, dass diese Konsensliste mit neun Aspekten (drei Dimensionen mit je drei Aspekten) überschaubar ist und sich die darin abgebildeten Kernideen den Kompetenzstufen (NT.1.1.a–NT.1.1.d) aus dem schweizerischen Lehrplan Volksschule zuordnen lassen (vgl. Kapitel 2.5.1).

Nachfolgend werden die drei Dimensionen *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft*, *menschliche Elemente der Wissenschaft* und *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* ausgeführt und im Anschluss das Modell von McComas (2015) dargestellt.

Die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* bezieht sich auf Arbeits- und Denkweisen im Erkenntnisgewinnungsprozess. Diese Dimension verdeutlicht, dass die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse auf unterschiedliche Weisen gewonnen werden und überprüf- sowie reproduzierbar sein müssen. Bei der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gibt es gemeinsame Normen und Methoden wie eine sorgfältige und möglichst objektive Beobachtung, eine sorgfältige und bedachte Datenerhebung und eine Wahrhaftigkeit in der Kommunikation der Ergebnisse. Dennoch existiert keine allgemeingültige Methode, die in den Naturwissenschaften angewendet wird. Wichtig ist, das Vorgehen offenzulegen, damit die Ergebnisse überprüft und reproduziert werden können, denn empirische Nachweise sind in den Naturwissenschaften erforderlich, damit Wissen als gesichert angesehen wird. Zuletzt muss in Bezug auf diese Dimension darauf hingewiesen werden, dass zwischen Gesetzen und Theorien unterschieden werden muss, da diese unterschiedliche Arten von Wissen abbilden (McComas, 2015). „Gesetze sind Verallgemeinerungen (von denen man gewöhnlich sagt, dass sie entdeckt wurden) über einen Aspekt der Natur, und Theorien sind die Erklärungen (von denen man gewöhnlich sagt, dass sie erfunden wurden) dafür, warum diese Gesetze gelten“ (McComas, 2015, S. 489). In anderen Worten: Gesetze machen Aussagen über Instanzen, und Theorien erklären, warum Gesetze wahr sind. Gesetze werden folg-

lich durch Theorien erklärt, können aber selbst zur Erklärung von Fällen verwendet werden (McComas, 2015).

Die Dimension *menschliche Elemente der Wissenschaft* fokussiert unterschiedliche Aspekte von menschlichen Einflüssen auf die Erkenntnisgewinnung. Durch diese Dimension wird verdeutlicht, dass die Erkenntnisgewinnung von unterschiedlichen menschlichen Elementen beeinflusst wird, beispielsweise von der Kreativität der Naturwissenschaftler*innen, welche ein unabdingbares Element der Erkenntnisgewinnung darstellt. Des Weiteren unterstellt diese Dimension, dass die Erkenntnisgewinnung trotz eines bewussten objektiven Arbeitens zum Teil subjektiv geprägt ist (McComas, 2015). Die subjektive Prägung zeigt sich bereits zu Beginn, beispielsweise bei der Wahl der Fragestellung, und weiter bei der Wahl der Methode, der Instrumente und der Skalen bis hin zur Interpretation der Ergebnisse. Auch die Motivation der Naturwissenschaftler*innen wirkt sich auf alle Schritte aus, denn einige arbeiten aufgrund von Neugierde oder Leidenschaft, andere aufgrund von Ehrgeiz oder Profit. Außerdem wird der Prozess von subjektiven Motivationen, Interessen, Einstellungen, Haltungen oder dem Wissen anderer Naturwissenschaftler*innen beeinflusst, denn oft findet die Erkenntnisgewinnung im Team statt (Allchin, 2004). Zusätzlich hat auch die Gesellschaft einen Einfluss auf die naturwissenschaftliche Forschung. Die Forschungsinteressen variieren abhängig vom historischen, kulturellen und sozialen Kontext. Neben den Bedürfnissen der Gesellschaft beeinflusst auch die Finanzierung, worüber geforscht wird. Diese gesellschaftlichen und finanziellen Einflüsse beeinflussen wiederum die Wahl der Fragestellungen, die Wahl der Methoden, der Instrumente, der Skalen und haben auch einen Einfluss auf die Interpretation der Ergebnisse, denn die gewonnenen Daten sprechen nicht für sich selbst. Die Ergebnisse werden von den Naturwissenschaftler*innen interpretiert (Abd-El-Khalick, 2013; Allchin, 2004; McComas, 2015; McComas et al., 1998).

Die letzte Dimension, die Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen*, bezieht sich auf Merkmale des naturwissenschaftlichen Wissens. Zu diesen Merkmalen gehören die Veränderbarkeit bzw. Vor-

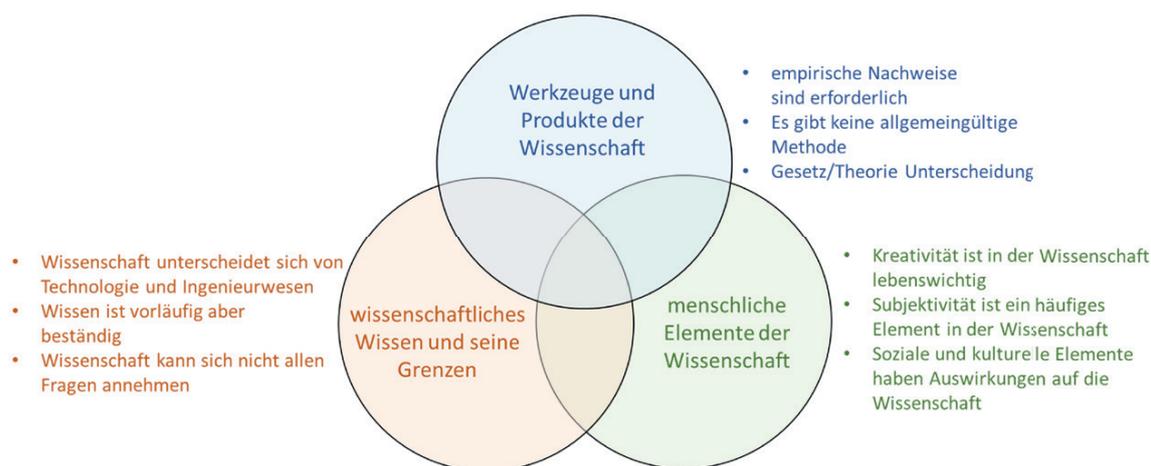


Abbildung 1: Die drei Dimensionen von Nature of Science, McComas (2015, S. 487)

läufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens sowie die Grenzen des Wissens. Mit dem Merkmal der Veränderbarkeit bzw. Vorläufigkeit wird darauf hingewiesen, dass naturwissenschaftliches Wissen dauerhaft, aber dennoch vorläufig ist, denn Wissen gilt nur so lange als korrekt, bis neue Erkenntnisse das Wissen präzisieren oder korrigieren (McComas, 2015). Mit den Grenzen des naturwissenschaftlichen Wissens wird aufgezeigt, dass „die Wissenschaft und ihre Methoden nicht alle Fragen beantworten können. Mit anderen Worten: Es gibt Grenzen für die Art von Fragen, die in einem wissenschaftlichen Rahmen gestellt werden können“ (McComas, 2015, S. 487). Zuletzt führt McComas (2015) in der Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* den Aspekt an, dass die Naturwissenschaften, die Technologie und das Ingenieurwesen nicht dasselbe sind. Jedoch weist er in seinen Ausführungen darauf hin, dass sich diese Bereiche gegenseitig beeinflussen (McComas, 2015) (Abbildung 1).

Im Kapitel 2.2 wurde dargestellt, dass Fehler seit der Entwicklung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert eine wichtige Rolle in den Naturwissenschaften spielen und als Bestandteile der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung angesehen werden. Nun stellt sich die Frage, ob Fehlern im Bereich von NOS heute ausreichend Bedeutung beigemessen wird. Im nachfolgenden Kapitel werden die Bedeutung und Stellung der Fehler im Bereich von NOS beispielhaft anhand des Modells von McComas (2015) dargestellt.

2.4 Nature of Science und Umgang mit Fehler

Fehler gehören zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und ermöglichen ein besseres Verständnis, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht. Aus diesen Gründen sollten Fehler als Bestandteile von NOS angesehen werden. Nach Douglas Allchin (2012) wies bereits Nash (1951) darauf hin, dass Schüler*innen vermittelt werden sollte, dass Naturwissenschaftler*innen Fehler machen können. Außerdem stützt er sich auf Bassow (1991), welcher die Wichtigkeit betont, die Bedeutung von Fehlern in den Naturwissenschaften zu vermitteln. Allchin war der Erste, der Fehler konkret mit NOS in Verbindung brachte. In seinem Artikel *Error and the Nature of Science* beschrieb Allchin (2004), dass es zu einem umfassenden Verständnis von NOS dazugehört, ein Verständnis darüber zu haben, wie Naturwissenschaften bzw. Naturwissenschaftler*innen sich irren können und wie sie diese Fehler entdecken und beheben. Dieses Verständnis „ist ein wesentliches Instrument, die Zuverlässigkeit und Tragweite wissenschaftlicher Behauptungen zu beurteilen, die Tragweite dieser Behauptungen zu erkennen und persönliche und öffentliche Entscheidungen zu treffen“ (Allchin, 2004, S. 1). Auch in seinem Artikel *Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science* bezieht sich Allchin (2011) auf die Notwendigkeit, Fehler als Bestandteile von NOS zu sehen. In seinem Artikel *Teaching the Nature of Science through Scientific Errors* macht Allchin (2012) zudem einen Vorschlag zur unterrichtlichen Vermittlung von NOS anhand von Fehlern.

Trotz der Bemühungen von Douglas Allchin und des Bewusstseins, dass Fehler zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dazugehören und ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht, wird den Fehlern im Bereich NOS, sowohl in neueren NOS-Ansätzen als auch in Modellen zu NOS, noch immer zu wenig Bedeutung beigemessen. Wenn überhaupt, werden Fehler nur indirekt erwähnt oder dargestellt. Nachfolgend wird an die Arbeiten von Allchin (1995, 1999, 2000a, 2000b, 2001, 2003, 2004, 2009, 2011, 2012) angeknüpft und die drei NOS-Dimensionen von McComas (2015) mit einem Fokus auf die Bedeutung und Stellung der Fehler dargestellt.

In der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* nehmen Fehler eine bedeutende Stellung ein, denn Fehler sind mit dem Aspekt der Überprüf- und Reproduzierbarkeit des naturwissenschaftlichen Wissens verknüpft. Dieser Aspekt besagt nach McComas (2015), dass Wissen nur als vorläufig korrekt angenommen wird, wenn es überprüf- und reproduzierbar ist. Können Erkenntnisse nicht überprüft oder reproduziert werden, werden sie als falsch deklariert und revidiert.

Wie im Kapitel 2.2 aufgezeigt, ist nach Popper (2008) neben der Überprüf- und Reproduzierbarkeit auch die Falsifizierbarkeit ein Kriterium der Wissenschaftlichkeit einer Theorie. Die Falsifizierbarkeit ist aber nicht als Aspekt oder Merkmal in der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* aufgeführt, eventuell aber implizit im Aspekt Überprüf- und Reproduzierbarkeit enthalten. Es wäre wichtig zu präzisieren, dass sowohl naturwissenschaftliches Wissen als auch naturwissenschaftliche Theorien überprüf- und reproduzierbar sein sollten, um als vorläufig korrekt angesehen zu werden, diese aber zugleich auch falsifizierbar sein sollten, um sie jederzeit zu widerlegen und zu revidieren, denn nur durch beide Merkmale wird dem Aspekt der Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens gerecht. Wichtig ist hierbei anzumerken, dass nach Popper (2008) die Falsifikation lediglich logisch möglich sein sollte und Wissen oder Theorien nicht tatsächlich scheitern müssen.

Wenn man weiter den Aspekt, dass es keine allgemeingültige Methode gibt, mit einem Fokus auf Fehler analysiert, erkennt man angelehnt an Allchin (2012), dass die Methodenwahl fehlerhaft sein kann. So kann beispielsweise eine falsche oder unpassende Methode gewählt werden oder bei der Anwendung der Methode kann ein Fehler passieren. Dies kann dazu führen, dass Ergebnisse fehlerbehaftet oder fehlerhaft sein können. Des Weiteren haben alle Methoden Limitationen und können daher niemals ein Konstrukt vollständig erfassen oder eine Frage vollumfänglich beantworten. Dieses Argument knüpft am Merkmal der Grenzen des naturwissenschaftlichen Wissens an, welches beinhaltet, dass sich die Naturwissenschaften nicht allen Fragen annehmen können und dass immer ein gewisses Unwissen vorhanden sein wird. So impli-

zieren auch die Limitationen der Methoden, dass durch das Unwissen die Erkenntnisse als möglicherweise fehlerhaft betrachtet werden müssen.

Beim Aspekt der Methode können Fehler auch eine positive Rolle einnehmen, denn es gibt auch Methoden zur Erkenntnisgewinnung, die mit Fehlern arbeiten. Dazu gehört die Praktik nach Versuch und Irrtum (Trial-and-Error-Methode), die ein bedeutendes Vorgehen der Erkenntnisgewinnung darstellt und seit den Anfangszeiten der naturwissenschaftlichen Forschung eingesetzt wird (Allchin, 2012; Popper, 2018). Wie der Name besagt, wird hierbei nach Versuch und Irrtum gearbeitet. Eine Variable wird dabei bewusst verändert, während die anderen konstant gehalten werden. Dabei wird aus jedem Versuch und jedem Irrtum gelernt. In der Natur existiert dieser iterative Prozess seit jeher, denn auch in der Natur geht es wie in den Naturwissenschaften darum, dass Probleme gelöst werden. Selbst ein simpler Organismus wie eine Amöbe löst durch Versuch und Irrtum Probleme und lernt dadurch, dass etwas falsch ist. Ein komplexerer Organismus wie der Mensch kann durch Versuch und Irrtum nicht nur lernen, dass etwas falsch ist, sondern auch, warum etwas falsch ist (Popper, 2018).

Dieses Wissen, „was nicht zu einer Sache gehört (Abgrenzungswissen) oder nicht getan werden darf (Fehlerwissen)“ (Oser, Hascher & Spychiger, 1999, S. 17), wird als *negatives Wissen* bezeichnet. Negativ darf dabei nicht im moralisch-wertenden Sinn verstanden werden, sondern als Gegenstück zu positiv. Positives Wissen ist das Wissen darüber, wie etwas sein sollte. Folglich bezieht sich negatives Wissen darauf, wie etwas nicht sein sollte (Oser et al., 1999). Das negative Wissen „hilft nicht zwingend, das Richtige zu tun [sic] aber es hilft, das Falsche zu vermeiden“ (Oser et al., 1999, S. 18). Je größer das negative Wissen ist, desto *sicherer* ist das *richtige* Handeln. Beim Aufbau des negativen Wissens wird daher auch vom Aufbau eines Schutzwissens gesprochen (Oser et al., 1999).

Nach Allchin (1999) werden negative Ergebnisse von Naturwissenschaftler*innen eher unterbewertet, anstatt sie zu akzeptieren, wenn sie zulässig sind. Naturwissenschaftler*innen sollten sich nicht vor negativen Ergebnissen fürchten, sondern sich eher vor unklaren oder nicht schlüssigen Ergebnissen hüten, denn unklare oder unschlüssige Ergeb-

nisse bieten keine Lerngelegenheit. Das naturwissenschaftliche Denken sollte von einer „Unterscheidung zwischen richtig und falsch zu einer Unterscheidung zwischen sicher und unsicher übergehen“ (Allchin, 1999, S. 304).

Nach Allchin (2012) nehmen Fehler bzw. Fehlertypen in Bezug auf den Aspekt der Methoden noch eine weitere zentrale Rolle ein. Nach ihm trägt Wissen um Fehlertypen dazu bei, wissenschaftliche Methoden besser zu verstehen. So ist in den Naturwissenschaften seit längerem bekannt, dass methodologische Normen bestimmte Fehlertypen ergänzen.

„Most methods in science were not obvious at first. They have a history. Scientists learned them through reflection and often after a repeated pattern of error. Even the basic notion of experimental control has a history. The earliest examples of control, one finds, nearly always introduced a second experiment mindful of potential criticism or ensuring that a target cause was not mistaken. Only in the mid-to-late nineteenth century does one find the method articulated and the term ‚control‘ introduced“ (Allchin, 2012, S. 905).

Daher sind nach Allchin (2012) Fehler wichtige Elemente, um etwas über die jeweilige Methode zu lernen, und bieten zusätzlich einen Einblick, wie Wissenschaft funktioniert.

Allchin (2001) teilt Fehler in den Naturwissenschaften in Materialfehler, Beobachtungsfehler, konzeptionelle und diskursive Fehler ein. All diese Fehler passieren, weil die Naturwissenschaftler*innen selbst diese Fehler machen. Zu den Ursachen der Materialfehler gehören laut Allchin (2001) unsachgemäße Materialien wie unreine Proben oder kontaminierte Kulturen, unsachgemäße Vorgehensweisen wie die Missachtung von Versuchsprotokollen, die Störung des Phänomens durch den Beobachtenden (Placebo-Effekt) oder die Unfähigkeit, ähnliche Phänomene durch kontrollierte Bedingungen zu unterscheiden. Zu den Ursachen der Beobachtungsfehlern zählen nach Allchin (2001) unzureichende Kontrollen zur Festlegung des Bereichs der Daten oder Beobachtungen, unvollständige Beobachtungstheorien, Wahrnehmungsverzerrung der betrachtenden Person („theoriegeladene“ Beobachtung, Doppelblind-Bedürfnis) oder Stichprobenfehler. Zu den Ursachen der konzeptionellen Fehler zählt Allchin (2001) Denkfehler wie einfache Rechenfehler, logische Irrtümer, die Verwechslung von Korrelation mit Kausalität oder

unvollständige Beweise. Außerdem gehören nach Allchin (2001) zu den Ursachen von konzeptionellen Fehlern unangemessene statistische Modelle oder eine unangemessene Angabe des Modells aus der Theorie. Des Weiteren nennt Allchin (2001) auch falsch spezifizierte Annahmen oder Randbedingungen, ein über- oder untergeneralisierter theoretischer Umfang, unvollständige Theorien, ein Mangel an alternativen Erklärungen oder eine theoriebasierte kognitive Verzerrung oder Verankerung als Ursachen von konzeptionellen Fehlern. Zu den Ursachen von diskursiven Fehlern gehören nach Allchin (2001) Kommunikationsfehler wie beispielsweise unvollständige Berichterstattungen oder undeutliche Veröffentlichungen, falsche Glaubwürdigkeitsurteile (z. B. Matthew-Effekt, Halo-Effekt) oder Betrug. Außerdem zählt Allchin (2001) ungeprüfte soziokulturelle kognitive Verzerrungen (in Bezug auf Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit oder wirtschaftliche Klasse), die Aufschlüsselung der Systeme zur Beglaubigung des naturwissenschaftlichen Fachwissens und öffentliche Missverständnisse über naturwissenschaftliche Ergebnisse und Missverständnisse der Naturwissenschaft (arme Wissenschaftserziehung, schlechter Wissenschaftsjournalismus usw.) zu den Ursachen von diskursiven Fehlern (Abbildung 2).

Es kann geschlussfolgert werden, dass Fehler, die oft eine Lerngelegenheit darstellen, als Werkzeuge der Naturwissenschaft gesehen werden sollten.

Auch in der Dimension *menschliche Elemente der Wissenschaft* haben Fehler eine zentrale Bedeutung. Mit dem Bewusstsein, dass Erkenntnisse Produkte von Menschen sind, sollte auch der Tatsache, dass Menschen Fehler machen, mehr Bedeutung beigemessen werden, denn Naturwissenschaftler*innen können in jedem Moment des Erkenntnisgewinnungsprozesses Fehler machen, sei dies bei der Formulierung von Forschungsfragen, bei der Wahl der Methoden, bei der Datenerhebung oder bei der Auswertung, Interpretation sowie Kommunikation der Daten. Fehler können dabei aus unterschiedlichen Gründen passieren, beispielsweise aufgrund von Nichtwissen, unzureichendem Wissen oder aufgrund von Flüchtigkeitsfehlern. Auch der subjektive Einfluss von Naturwissenschaftler*innen kann zu Fehlern führen, beispielsweise

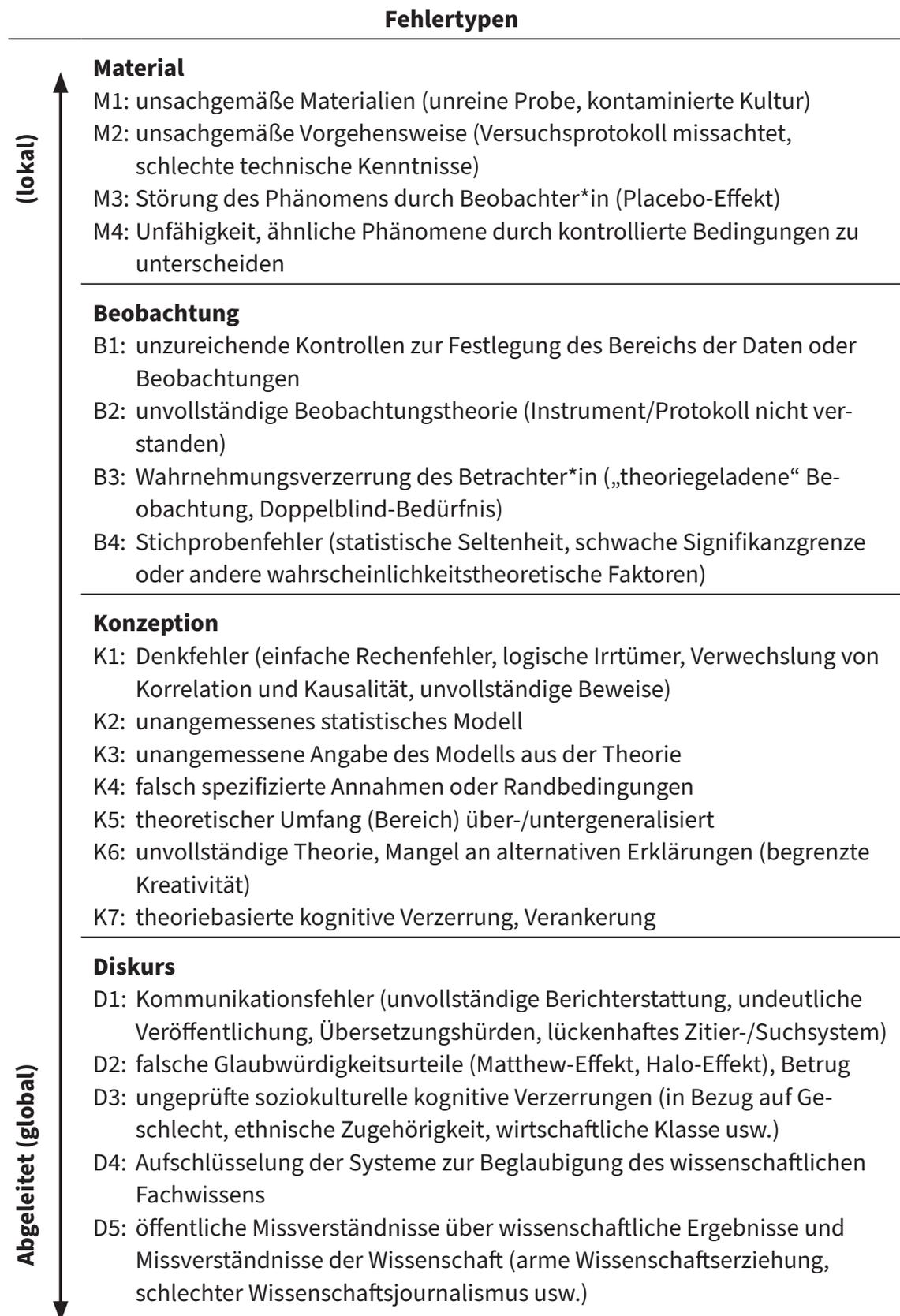


Abbildung 2: Fehlertypen in den Naturwissenschaften nach Allchin (2001, S. 4)

wenn Datenerhebungen frühzeitig abgebrochen werden, weil man die gewünschten Ergebnisse bereits erhalten hat oder weil man gelehrt durch eine Annahme eine falsche Beobachtung macht. Außerdem haben Menschen begrenzte Wahrnehmungs- und Leistungsbereiche, was auch zu Fehlern führen kann. So kann beispielsweise eine sehr schnelle Reaktion mit den Augen nicht oder nur unzureichend beobachtbar sein, was, wenn die Reaktion nicht wiederholt und mit einer Highspeed-Kamera gefilmt wird, schlussendlich zu falschen Erkenntnissen führen kann (Allchin, 2001, 2004, 2012).

Auch mit der Kreativität als Aspekt der *menschlichen Elemente der Wissenschaft* sind Fehler verbunden. Kahl (1995) ist der Überzeugung, dass das Fehlermachen mit der Kreativität einhergeht, denn nur wer offen ist, einen Fehler zu begehen, kann Kreativität voll ausschöpfen. Daher sollten Fehler als Teil der Kreativität gesehen werden.

Zuletzt ist auch der Aspekt der Auswirkungen der sozialen und kulturellen Elemente auf die Naturwissenschaften mit Fehlern verbunden. Die Finanzierung von Forschungsprojekten durch die Gesellschaft lenkt zwar die Naturwissenschaften, aber oft besteht die Erwartung, dass keine Fehler gemacht werden dürfen und Fehler vermieden werden sollen. Erhalten die Naturwissenschaftler*innen unerwartete Ergebnisse (seien dies Ergebnisse ohne Effekt oder Effekte in eine andere Richtung sowie auf andere Variablen), werden diese von Geldgeber*innen als falsch bewertet. Das Projekt kann von Geldgeber*innen bzw. von der Gesellschaft als gescheitert angesehen werden, was zur Folge haben kann, dass weitere Forschung in diesem Bereich nicht mehr finanziert wird oder eine Forscher*innengruppe keine Finanzierung mehr erhält (Allchin, 2001, 2012; McComas, 2015). Eine weitere Schwierigkeit ist, dass gescheiterte Forschung und unerwartete Ergebnisse nur schwer publiziert werden können. Auch heute gibt es nur wenige Zeitschriften (wie das *Journal of Unsolved Questions*, die Zeitschrift *Experimental Results* oder das *Journal of Trail and Error*) die gescheiterte Forschung oder unerwartete Ergebnisse publizieren.

Zuletzt sind Fehler zentrale Merkmale in der Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen*. Wie im Kapitel 2.3 beschrieben, ist

ein Merkmal des naturwissenschaftlichen Wissens dessen Veränderbarkeit bzw. Vorläufigkeit (Allchin, 2004; McComas, 2015). Dieses Merkmal deutet darauf hin, dass sich das naturwissenschaftliche Wissen jederzeit als falsch herausstellen kann und korrigiert werden muss (McComas, 2015). Es muss davon ausgegangen werden, dass auch als gesichert angenommene naturwissenschaftliche Erkenntnisse wie beispielsweise die Quantenmechanik oder der Aufbau des Universums, möglicherweise falsch sein können. Mit dieser Einstellung wird auch die Freiheit des Denkens bewahrt. Allchin (1999, S. 304) schreibt dazu:

„Results that are merely consistent with a proposed theory or explanation should not wholly convince us. Our brains tend to seek confirmation of our beliefs and discount perception of instances that challenge them. But no one regards this cognitive bias as good science. Even positive results deserve skeptical analysis. To rely on positive results means also to rule out experimental error and alternative explanations at the same time. Theories must not just pass tests; they must pass severe tests. They must survive a likely opportunity to fail. In a sense, the researcher must invite or aim for potential negative results (to expose them should they exist).“

Die Naturwissenschaftsgeschichte, wie sie im Kapitel 2.1 umrissen wurde, lehrt uns, dass sich das naturwissenschaftliche Wissen über das Finden bzw. Verbessern von Fehlern weiterentwickelt hat. Das Merkmal der Veränderbarkeit bzw. Vorläufigkeit impliziert folglich, dass das naturwissenschaftliche Wissen als fehlerhaft angenommen werden muss und sich dieses durch das Verbessern von Fehlern weiterentwickelt.

Das Merkmal der Grenzen des naturwissenschaftlichen Wissens zeigt auf, dass sich die Naturwissenschaften nicht allen Fragen annehmen können und dass immer ein gewisses Unwissen vorhanden sein wird (McComas, 2015). Auch dieses Merkmal impliziert, dass naturwissenschaftliches Wissen fehlerhaft sein kann, denn wenn man nicht alle Fragen beantworten kann, kann man auch nicht mit Sicherheit sagen, ob das Wissen so korrekt ist oder ob nach Kuhn (2020) noch gewisse Anomalien zu beheben sind.

Anhand dieser beispielhaften Darstellung der Bedeutung und Stellung der Fehler im Bereich von NOS wurde aufgezeigt, dass Fehler integrale Bestandteile von NOS sind oder einen Einfluss auf die Dimensionen von

NOS haben können. Mit dem Wissen um die Bedeutung und Stellung von Fehlern im Bereich von NOS sollten diese im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht als Bestandteil von NOS vermittelt werden. Welche Ziele der naturwissenschaftlich-technische Unterricht verfolgt, wie NOS in den Lehrplänen dargestellt wird und ob Fehler darin ihren berechtigten Platz finden, wird im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

2.5 Nature of Science im Lehr-Lern-Kontext

Der naturwissenschaftlich-technische Unterricht verfolgt das Ziel einer umfassenden naturwissenschaftlichen Grundbildung (Gräber & Nentwig, 2002). Die naturwissenschaftliche Grundbildung orientiert sich stark „an der in den angelsächsischen Ländern vorherrschenden Konzeption von *Scientific Literacy* („science for all“ (Fischler, Gebhard & Rehm, 2018, S. 19). Jedoch ist die *Scientific Literacy* bedeutend komplexer, und die naturwissenschaftliche Grundbildung kann lediglich als ein Teil der *Scientific Literacy* gesehen werden. Naturwissenschaftliche Grundbildung wird von der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) bzw. dem Programme for International Student Assessment (PISA) wie folgt definiert:

„Naturwissenschaftliche Grundbildung ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ (Baumert et al., 1999, S. 3).

Bei der naturwissenschaftlichen Grundbildung geht es folglich darum, „dass Schüler*innen die Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik für ihr alltägliches Leben verstehen. Sie sollen in der Lage sein, naturwissenschaftliche Daten und Informationen mithilfe naturwissenschaftlicher Herangehensweisen bewerten zu können, um daraufhin evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen“ (Reiss et al., 2016, S. 48). Die Definition der OECD bzw. von PISA zeigt auf, dass die naturwissenschaftliche Grundbildung naturwissenschaftliches Wissen voraus-

setzt. Dabei handelt es sich um mehr als ein Faktenwissen und ein Wissen über Begriffe und Beziehungen, denn es beinhaltet auch ein Metawissen über Naturwissenschaften (Baumert et al., 1999). Dieses Metawissen umfasst, wie im Kapitel 2.3 dargestellt, ein Wissen über *naturwissenschaftliches Wissen und seine Grenzen, Werkzeuge und Produkte der Naturwissenschaft* sowie *menschliche Elemente der Naturwissenschaft* (Baumert et al., 1999; McComas, 2015). Die Schüler*innen müssen folglich auch ein adäquates Verständnis von NOS haben. Das Verständnis von NOS bildet neben dem Faktenwissen und dem Wissen über Begriffe und Beziehungen die Grundlage für die naturwissenschaftliche Grundbildung (Baumert et al., 1999; Gräber & Nentwig, 2002; Reiss et al., 2016).

NOS ist, wie im Kapitel 2.3 dargestellt, nicht klar definiert und wird von unterschiedlichen Personengruppen, aber auch von verschiedenen Personen aus demselben Kreis (z. B. Naturwissenschaftsdidaktiker*innen) unterschiedlich verstanden. Als Abhilfe dafür, welche NOS-Aspekte von Lehrpersonen vermittelt werden sollen, dient der schweizerische Lehrplan Volksschule. Dort findet sich zum ersten Mal konkret ein Kompetenzbereich zu NOS. Dieser wird nachfolgend dargestellt und analysiert.

2.5.1 Nature of Science im schweizerischen Lehrplan Volksschule

Der schweizerische Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) ist in die Zyklen 1–3 aufgeteilt. Der erste Zyklus umfasst den Kindergarten bis zur 2. Klasse, der zweite Zyklus die 3.–6. Klasse und der dritte Zyklus die 7.–9. Klasse. Der dritte Zyklus wird in der Schweiz als Sekundarstufe I bezeichnet (Hauptschulen und Realschulen in Deutschland). Für den dritten Zyklus finden sich im Lehrplan die Kompetenzstufen für die Fächer Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch, Latein, Mathematik, Natur und Technik (NT – mit Physik, Chemie, Biologie), Wirtschaft, Arbeit, Haushalt (WAH – mit Hauswirtschaft), Räume, Zeiten, Gesellschaft (RZG – mit Geografie, Geschichte), Ethik, Religion, Gemeinschaft (ERG – mit Lebenskunde), Bildnerisches

Gestalten, Textiles und Technisches Gestalten, Musik, Bewegung und Sport, Medien und Informatik sowie Berufliche Orientierung (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017).

Die Kompetenzen mit den entsprechenden Kompetenzstufen werden im Lehrplan tabellarisch dargestellt. Die Grundansprüche sind grau hinterlegt. Diese sollen von allen Klassen der Sekundarstufe I erreicht werden, unabhängig davon, ob die Schüler*innen in ein niedrigeres oder höheres Niveau eingeteilt sind.⁵ Um die Grundansprüche optimal zu erarbeiten, müssen die vorhergehenden Kompetenzstufen bearbeitet werden. Die Kompetenzstufen, die nach dem Grundanspruch aufgeführt sind, können nach Belieben und verfügbarer Zeit erarbeitet werden. Die verbindlichen Inhalte sind im Anschluss an die Kompetenzstufen in kleinerer Schrift notiert (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) (Abbildung 3).

Das Integrationsfach Natur und Technik im dritten Zyklus vereint die Fächer Biologie, Chemie und Physik (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017). Obwohl diese drei Fächer im Integrationsfach Natur und Technik vereint werden, werden diese oft einzeln und die Technik integriert in diesen Fächern unterrichtet. Das Integrationsfach Natur und Technik ist in neun Kompetenzbereiche eingeteilt. Der erste und neue Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* „soll die Schüler*innen befähigen, sich kritisch mit der Welt und ihren Gesetzmäßigkeiten auseinanderzusetzen und sich diese zu erschließen“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 269). In diesem Kompetenzbereich geht es darum, „was die Naturwissenschaften charakterisiert, was naturwissenschaftliches Wissen ausmacht, wie Erkenntnisse gewonnen werden, wie sich naturwissenschaftliche Zweige entwickelt haben oder welche gesellschaftliche Bedeutung den Naturwissenschaften zukommt“ (Bildungsdepartement

⁵ Die Sekundarstufe I in der Schweiz ist klassischerweise in die Sekundarstufe und die Realstufe unterteilt. Die Sekundarstufe besuchen leistungsstärkere Schüler*innen, die Realstufe besuchen leistungsschwächere Schüler*innen. Es gibt auch Schulen, die in drei Leistungsniveaus unterscheiden (z. B. Niveau e = erweiterte Anforderungen, Niveau m = mittlere Anforderungen, Niveau g = grundlegende Anforderungen).

<p>NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen</p>	<p>Kompetenzbereich</p>
<p>1. Die Schülerinnen und Schüler können Wege zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse beschreiben und deren kulturelle Bedeutung reflektieren.</p>	<p>Kompetenz</p>
<p>NT.1.1.a: Die Schülerinnen und Schüler können beschreiben, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden (z.B. Was ist eine Beobachtung? Was ist eine naturwissenschaftliche Frage? Was ist eine Hypothese? Was ist ein Experiment? Welche Rolle spielen die Untersuchungsbedingungen?). Naturwissenschaftliche Beobachtung</p> <p>... können naturwissenschaftliche Erkenntnisse von nicht naturwissenschaftlichen unterscheiden und an Beispielen verdeutlichen (z.B. Chemie versus Alchemie, Astronomie versus Astrologie). Naturwissenschaftliches Experimentieren</p>	<p>Kompetenzstufe</p> <p>Verbindliche Inhalte</p>
<p>NT.1.1.b: Die Schülerinnen und Schüler können Informationen zu ausgewählten Persönlichkeiten (z.B. Galilei, le Verrier, Adams und Galle, Curie, Einstein, das Team um Watson und Crick) erschliessen und daraus ableiten, was Naturwissenschaftler/innen machen bzw. wie sie zu ihren Erkenntnissen gelangen.</p>	<p>Grundanspruch</p>
<p>NT.1.1.c: Die Schülerinnen und Schüler können angeleitet Informationen über eine naturwissenschaftliche Erkenntnis zusammenstellen sowie nachvollziehen und kommunizieren, wie diese Erkenntnis unser Weltbild verändert hat (z.B. Kopernikanische Wende, Entdeckung des Magensaftes, Gravitationsgesetz, Rutherford's Streuversuch, Atomtheorie, Entdeckung der Kernenergie, Penizillin, Entdeckung der Gene, Urknalltheorie).</p>	

Abbildung 3: Beispiel Auszug Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326) nach Bildungsdepartement Kanton St.Gallen (2017, S. 22)

Kanton St.Gallen, 2017, S. 269). Diese Inhalte sollen durch implizite (Anwenden naturwissenschaftlicher Methoden), historische (naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung historisch einordnen) und explizite Zugänge (Prozesse der Erkenntnisgewinnung diskutieren und reflektieren) erarbeitet werden (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017).

Erste Grundlagen für den Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* werden bereits in den ersten beiden Zyklen gelegt. Im dritten Zyklus wird das Verständnis zum Wesen der Naturwissenschaften und der Technik vertieft und ausgebaut. Der Fokus liegt dabei auf der Befähigung der Schüler*innen, sachlich und begründet zu argumentieren (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017). Nachfolgend werden die Kompetenzen sowie Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* des Lehrplans Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326–327) dargestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326–327)

<p>NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen</p> <p>1. Die Schülerinnen und Schüler können Wege zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse beschreiben und deren kulturelle Bedeutung reflektieren.</p> <p>NT.1.1.a: Die Schülerinnen und Schüler können beschreiben, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden (z. B. Was ist eine Beobachtung? Was ist eine naturwissenschaftliche Frage? Was ist eine Hypothese? Was ist ein Experiment? Welche Rolle spielen die Untersuchungsbedingungen?). Naturwissenschaftliche Beobachtung ... können naturwissenschaftliche Erkenntnisse von nicht naturwissenschaftlichen unterscheiden und an Beispielen verdeutlichen (z. B. Chemie versus Alchemie, Astronomie versus Astrologie). Naturwissenschaftliches Experimentieren</p> <p>NT.1.1.b: Die Schülerinnen und Schüler können Informationen zu ausgewählten Persönlichkeiten (z. B. Galilei, le Verrier, Adams und Galle, Curie, Einstein, das Team um Watson und Crick) erschließen und daraus ableiten, was Naturwissenschaftler/innen machen bzw. wie sie zu ihren Erkenntnissen gelangen.</p> <p>NT.1.1.c: Die Schülerinnen und Schüler können angeleitet Informationen über eine naturwissenschaftliche Erkenntnis zusammenstellen sowie nachvollziehen und kommunizieren, wie diese Erkenntnis unser Weltbild verändert hat (z. B. Kopernikanische Wende, Entdeckung des Magensaftes, Gravitationsgesetz, Rutherfords Streuversuch, Atomtheorie, Entdeckung der Kernenergie, Penizillin, Entdeckung der Gene, Urknalltheorie).</p> <p>NT.1.1.d: Die Schülerinnen und Schüler können generalisieren, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung abläuft, welchen Prinzipien sie unterliegt und diese nicht naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung gegenüberstellen. Prinzipien der Naturwissenschaften: grundsätzliche Verstehbarkeit der Welt, Einfachheit der Lösung, Objektivität und Reproduzierbarkeit, Beständigkeit und Vorläufigkeit, Grenzen der Erkenntnisse</p>
<p>2. Die Schülerinnen und Schüler können technische Alltagsgeräte bedienen und ihre Funktionsweise erklären.</p> <p>NT.1.2.a: Die Schülerinnen und Schüler können die Funktionsweise einfacher technischer Geräte erfassen und Komponenten nachbauen (z. B. Handbohrmaschine, Heißluftballon). Einfache technische Geräte: Funktionsweise</p> <p>... können eine einfache Fehlersuche bei nicht funktionierenden Geräten durchführen und die Fehl- oder Nichtfunktion genau beschreiben (z. B. defekte Lampe, Sicherung, Kabel richtig einstecken). Einfache Fehlersuche</p>

NT.1.2.b: Die Schülerinnen und Schüler können Anwendungsmöglichkeiten technischer Geräte unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen bzw. Einflüssen testen (z. B. erhöhte Reibung, tiefere Temperatur). Testverfahren

... können technische Geräte austesten, hinterfragen und dazu Verbesserungen vorschlagen (z. B. Schattenwurf und Neigungswinkel bei Solarzellen).

NT.1.2.c: Die Schülerinnen und Schüler können Grundprinzipien von Alltagsgeräten erkennen, vergleichen und präsentieren (z. B. wärmeerzeugende Geräte, Wärmepumpe, Lampen, Übersetzung Fahrrad, Zapfenzieher, Personenlift, Sicherungsautomat, Lautsprecher, Leuchtdiode, Solarzellen).

NT.1.2.d: Die Schülerinnen und Schüler können die grundlegende Funktionsweise aktueller Technologien aufgrund von Sachtexten erfassen und künftige Anwendungsmöglichkeiten unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen skizzieren (z. B. Geothermie, Informations- und Kommunikationstechnologie, Handy in Funkzellen, GPS, Flachbildschirm, Endoskop, Induktionsherd).

3. Die Schülerinnen und Schüler können die Nachhaltigkeit naturwissenschaftlich-technischer Anwendungen diskutieren.

NT.1.3.a: Die Schülerinnen und Schüler können sich angeleitet über die Bedeutung von naturwissenschaftlich-technischen Anwendungen für den Menschen informieren, insbesondere in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit und Ethik (z. B. Gentechnik, Nanostoffe, Haltbarmachung von Milch, Antibiotika).

NT.1.3.b: Die Schülerinnen und Schüler können sich angeleitet über die Nachhaltigkeit von naturwissenschaftlich-technischen Anwendungen informieren sowie Chancen und Risiken diskutieren (z. B. Verbrennungsmotoren, Kernenergie, Herstellung von Düngemittel, Computer).

NT.1.3.c: Die Schülerinnen und Schüler können selbstständig Sachinformationen zu naturwissenschaftlich-technischen Themenbereichen recherchieren, reflektieren und präsentieren (z. B. Auswirkungen bei Rohstoffmangel).

Wie aus dem Lehrplan (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326–327) ersichtlich wird, setzt sich der erste Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* aus drei Kompetenzen zusammen. Die erste Kompetenz *NT.1.1 Die Schülerinnen und Schüler können Wege zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse beschreiben und deren kulturelle Bedeutung reflektieren* bezieht sich auf das Wesen der Naturwissenschaften (Nature

of Science). Die zweite Kompetenz *NT.1.2 Die Schülerinnen und Schüler können technische Alltagsgeräte bedienen und ihre Funktionsweise erklären* verweist auf das Wesen der Technik (Nature of Technology). Die dritte Kompetenz *NT.1.3 Die Schülerinnen und Schüler können die Nachhaltigkeit naturwissenschaftlich-technischer Anwendungen diskutieren* vereint Bereiche des Wesens der Naturwissenschaften und der Technik (Nature of Science und Nature of Technology).

Da sich die erste Kompetenz *NT.1.1* konkret auf NOS bezieht, wird für diese Kompetenz nachfolgend grob analysiert, an welchen Dimensionen des Modells von McComas (2015) die vier Kompetenzstufen anknüpfen. McComas (2015) stellt, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, die Inhalte von NOS mit den drei sich überschneidenden *Dimensionen Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft, menschliche Elemente der Wissenschaft und wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* dar.

Der erste Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* bezieht sich darauf, „wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326). Im Fokus steht dabei die naturwissenschaftliche Beobachtung, welche während der Erkenntnisgewinnung als Werkzeug und gegen Ende der Erkenntnisgewinnung als Produkt der Naturwissenschaften gesehen werden kann. Nach dem Lehrplan können auch naturwissenschaftliche Fragen, Hypothesen und Experimente thematisiert werden, welche auch zu den Werkzeugen der Naturwissenschaften gehören. Die naturwissenschaftliche Frage knüpft aber auch an die Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* sowie *menschliche Elemente der Wissenschaft* an. So müssen sich die Schüler*innen bewusst sein, dass sich die Naturwissenschaften nicht allen Fragen annehmen können und die naturwissenschaftlichen Fragen von der Subjektivität und Kreativität der Naturwissenschaftler*innen sowie von kulturellen Elementen beeinflusst werden. Die Untersuchungsbedingungen, welche zuletzt aufgezählt werden, können keiner Dimension zugeordnet werden. Sie sollten vielmehr als Einflussfaktor auf die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* gesehen werden. Diese beeinflussen beispielsweise, welche Werkzeuge gewählt werden. Diese grobe Analyse zeigt auf, dass sich der erste Teil der

Kompetenzstufe *NT.1.1.a* hauptsächlich auf die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* bezieht.

Im zweiten Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* sollen die Schüler*innen „naturwissenschaftliche Erkenntnisse von nicht naturwissenschaftlichen unterscheiden“ können (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326). Um diese Kompetenz zu erreichen, brauchen Schüler*innen ein adäquates Verständnis von allen drei Dimensionen, welche im Modell von McComas (2015) dargestellt werden, denn nur wenn sie wissen, was Naturwissenschaften ausmacht, wie diese funktionieren und wie diese von den Wissenschaftler*innen selbst als auch von der Gesellschaft beeinflusst werden, können sie naturwissenschaftliche von nichtnaturwissenschaftlichen Erkenntnissen unterscheiden. Somit vereint der zweite Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* die drei Dimensionen aus dem Modell von McComas (2015).

Bei der Kompetenzstufe *NT.1.1.b* geht es darum, dass die Schüler*innen anhand von Informationen zu Wissenschaftler*innen erschließen können, „was Naturwissenschaftler*innen machen bzw. wie sie zu den Erkenntnissen gelangen“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326). Bei dieser Kompetenzstufe stehen folglich die Person und deren Arbeitsweise im Zentrum. Daher knüpft diese Kompetenzstufe an die beiden Dimensionen *menschliche Elemente der Wissenschaft* und *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* an, wobei die Arbeitsweisen und somit die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* stärker vertreten wird. Das Was bezieht sich auf den Erkenntnisgewinn, welcher sich dem Aspekt *Produkte der Naturwissenschaften* der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* zuordnen lässt. Das Wie wird sowohl den *Werkzeugen* als auch den *menschlichen Elementen* zugeordnet. Obwohl der Fokus dieser Kompetenzstufe auf der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* liegt, darf gerade beim Wie nicht zu kurz kommen, dass die Erkenntnisgewinnung durch die Kreativität und Subjektivität der Naturwissenschaftler*innen sowie durch die Gesellschaft geprägt wurde.

Bei der Kompetenzstufe *NT.1.1.c* sollen die Schüler*innen befähigt werden, „Informationen über naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu-

sammenzustellen sowie nachzuvollziehen, wie diese das Weltbild verändert haben“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326). Bei der naturwissenschaftlichen Erkenntnis handelt es sich um ein Produkt der Naturwissenschaften. Aus einer neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnis heraus kann das bestehende Wissen angepasst werden. Außerdem können (neue) Gesetze und Theorien gefunden werden. Aus diesen beiden Gründen bezieht sich die Kompetenzstufe *NT.1.1.c* sowohl auf die Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* als auch auf die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft*. Der Fokus liegt aber auf der letztgenannten Dimension.

Die Kompetenzstufe *NT.1.1.d* greift noch einmal die Unterscheidung zwischen naturwissenschaftlicher und nichtnaturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung auf. Weiter sollen die Schüler*innen bei dieser Kompetenzstufe generalisieren können, „wie naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung abläuft und welchen Prinzipien [*grundsätzliche Verstehbarkeit der Welt, Einfachheit der Lösung, Objektivität und Reproduzierbarkeit, Beständigkeit und Vorläufigkeit, Grenzen der Erkenntnisse*] sie unterliegt“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326). Um diese Kompetenz zu erlangen, benötigen die Schüler*innen ein adäquates Verständnis von allen drei Dimensionen des Modells von McComas (2015). Die verbindlichen Inhalte, welche der Lehrplan im Rahmen dieser Kompetenzstufe definiert, lassen sich jedoch nur der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* und *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* zuordnen. Die *Objektivität und Reproduzierbarkeit* gehören zur Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* und die *Beständigkeit und Vorläufigkeit* sowie die *Grenzen der Erkenntnisse* zur Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen*. Bei den beiden anderen verbindlichen Inhalten *grundsätzliche Verstehbarkeit der Welt* und *Einfachheit der Lösung* geht es darum, was Naturwissenschaften ausmacht. Diese lassen sich nicht konkret einer Dimension zuordnen. Es wurde ersichtlich, dass bei den verbindlichen Inhalten kein Bezug zur Dimension *menschliche Elemente der Wissenschaft* gemacht wurde. Dennoch ist diese Dimension zentral, um zu verstehen, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung abläuft (Abbildung 4).

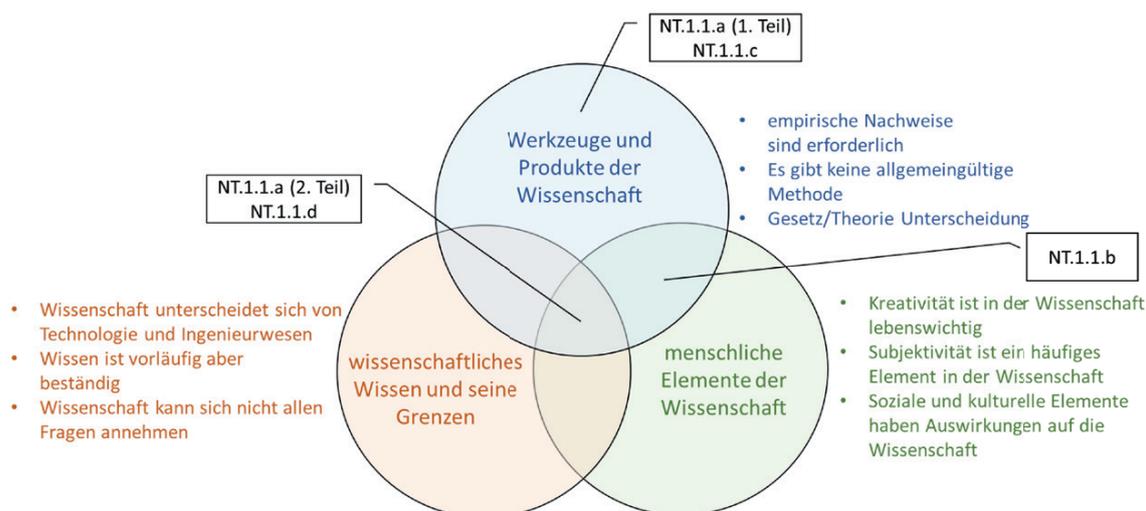


Abbildung 4: Zuordnung der Kompetenzstufen aus der Kompetenz NT.1.1 zum Modell nach McComas (2015, S. 487)

Aufgrund der Zuordnung der Kompetenzstufen zum Modell von McComas (2015) wurde ersichtlich, dass der schweizerische Lehrplan Volksschule bei der Kompetenz *NT.1.1 Die Schülerinnen und Schüler können Wege zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse beschreiben und deren kulturelle Bedeutung reflektieren* einen Schwerpunkt auf die Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* setzt. Im Zentrum der Kompetenz steht das *Wie*. Die Schüler*innen sollen verstehen, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden. Es wird folglich auf den Erkenntnisgewinnungsprozess fokussiert. Die Dimensionen *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* sowie *menschliche Elemente der Wissenschaft* werden in den Kompetenzstufen unzureichend abgebildet. Obwohl sich bei allen Kompetenzstufen Anknüpfungspunkte zu den drei Dimensionen *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen*, *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* und *menschliche Elemente der Wissenschaft* finden lassen würden, bedarf es eines adäquaten NOS-Verständnisses der Lehrpersonen, damit sie diese Aspekte erkennen und folglich im Rahmen dieser Kompetenzstufen thematisieren und vermitteln können. Da aufgrund von unterschiedlichen Studien angenommen wird, dass nicht alle Lehrpersonen ein adäquates Verständnis von NOS haben (z. B. Norman G. Lederman & Lederman, 2014; Liang et al., 2006), wird es als problematisch angesehen, dass der Lehrplan nicht

alle Dimensionen aus dem Modell von McComas (2015) gleichermaßen abbildet. Problematisch am Lehrplan ist außerdem, dass die Kompetenzstufen *NT.1.1.c* und *NT.1.1.d* nach dem Grundanspruch (*NT.1.1.b*) aufgeführt sind und optional bearbeitet werden können. Gerade die Kompetenzstufe *NT.1.1.d* führt die drei Dimensionen zusammen und fördert ein adäquates Verständnis von NOS.

2.5.1.1 Zuordnung Umgang mit Fehlern im Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen*

Wie im Kapitel 2.4 aufgezeigt, spielen Fehler eine bedeutende Rolle im Bereich NOS. Es stellt sich nun die Frage, ob Lehrpersonen Fehler als integralen Bestandteil von NOS vermitteln. Unter Betrachtung des schweizerischen Lehrplans Volksschule würde diese Frage eher mit nein beantwortet werden, denn Fehler werden lediglich in der Kompetenzstufe *NT.1.2.a*, die sich auf das Wesen der Technik bezieht, konkret erwähnt. Dass Fehler in der Kompetenz *NT.1.1*, welche sich auf das Wesen der Naturwissenschaften bezieht, nicht erwähnt werden, ist als problematisch anzusehen, da Fehler zur Erkenntnisgewinnung gehören und ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht.

Mit der Kompetenz *NT.1.1 Die Schülerinnen und Schüler können Wege zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse beschreiben und deren kulturelle Bedeutung reflektieren* sollten Fehler als Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung vermittelt werden. Neben dem Aufzeigen, dass Fehler zur Erkenntnisgewinnung gehören, sollte auch vermittelt werden, dass Fehler in jedem Moment des Prozesses passieren können. Außerdem sollte thematisiert werden, warum Fehler passieren und welche Auswirkungen diese haben können. Nachfolgend werden konkrete Bezüge und Beispiele zu den entsprechenden Kompetenzstufen gemacht.

Der erste Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* bezieht sich darauf, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden. Auf dem Weg der Erkenntnisgewinnung können unzählige Fehler gemacht werden:

von falschen Beobachtungen, unsachgemäßen Materialien, falschen Datenanalysen bis hin zu fehlerhaften Veröffentlichungen. Im ersten Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* ist die naturwissenschaftliche Beobachtung als verbindlicher Inhalt notiert. Dies bedeutet, dass die naturwissenschaftliche Beobachtung von allen Lehrpersonen thematisiert werden sollte. Zu der Frage, was eine naturwissenschaftliche Beobachtung ist, gehört auch, falsche Beobachtungen zu thematisieren, denn Beobachtungen sind nicht immer richtig, sowohl Naturwissenschaftler*innen als auch Schüler*innen können falsche Beobachtungen machen. In diesem Zusammenhang gilt es zu verstehen, welche Auswirkungen falsche Beobachtungen auf den Erkenntnisgewinn haben können. Außerdem ist es wichtig, dass die Schüler*innen verstehen, wie es zu falschen Beobachtungen kommen kann. Die Ursachen von falschen Beobachtungen können, wie im Kapitel 2.4 dargestellt, unzureichende Kontrollen zur Festlegung des Bereichs der Daten oder Beobachtungen, unvollständige Beobachtungstheorien, Wahrnehmungsverzerrungen der Betrachtenden („theoriegeladene“ Beobachtung, Doppelblind-Bedürfnis) oder Stichprobenfehler sein (Allchin, 2001).

Im zweiten Teil der Kompetenzstufe *NT.1.1.a* sollen die Schüler*innen naturwissenschaftliche Erkenntnisse von nichtnaturwissenschaftlichen unterscheiden können (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017). Es ist wichtig, dass die Schüler*innen wissen und verstehen, dass auch im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess Fehler gemacht werden können. Als verbindlicher Inhalt ist in diesem zweiten Teil der Kompetenzstufen das naturwissenschaftliche Experimentieren notiert. Auch hierbei gilt es zu verstehen, dass beim Experimentieren viele Fehler passieren können. Im Zentrum sollte vielmehr stehen, was aus fehlerhaften Experimenten gelernt werden kann. Zudem sollte behandelt werden, dass beim Experimentieren oft nach der Methode Versuch und Irrtum gearbeitet wird.

Auch der Grundanspruch *NT.1.1.b* bietet eine gute Gelegenheit, Fehler zu thematisieren, denn auch Naturwissenschaftler*innen haben im Erkenntnisgewinnungsprozess Fehler gemacht. Um Fehler von Naturwissenschaftler*innen zu behandeln, können diese, wie im Kapitel 2.5.2

dargestellt, historisch eingeordnet werden. In diesem Rahmen wäre es spannend, den Schüler*innen aufzuzeigen, wie die Naturwissenschaftler*innen mit diesen Fehlern umgegangen sind. Zudem lassen sich mit dieser Kompetenzstufe verschiedene Fehlertypen sowie die Auswirkungen der Fehler aufzeigen.

Mit der Kompetenzstufe *NT.1.1.c* können Fehler erneut im Prozess der Erkenntnisgewinnung aufgegriffen, aber auch mit der Veränderbarkeit bzw. Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens thematisiert werden. Schüler*innen sollen verstehen, dass das naturwissenschaftliche Wissen vorläufig, aber beständig ist. So können neue Erkenntnisse dazu führen, dass etabliertes Wissen geändert wird und sich dadurch das Weltbild verändern kann.

Auch in der letzten Kompetenzstufe *NT.1.1.d* aus der Kompetenz *NT.1.1* können Fehler mit den verbindlichen Inhalten *grundsätzliche Verstehbarkeit der Welt, Einfachheit der Lösung, Objektivität und Reproduzierbarkeit, Beständigkeit und Vorläufigkeit* sowie *Grenzen der Erkenntnisse* (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326) thematisiert werden. In Bezug auf eine *grundsätzliche Verstehbarkeit der Welt* gehören ein Verständnis sowie eine Haltung dazu, dass Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gemacht wurden und auch zukünftig weiter gemacht werden. In Bezug auf die *Einfachheit der Lösung* ist Folgendes zu bedenken: Da die Natur meist sehr komplex ist, wird eine einfache Lösung immer fehlerhaft sein, denn durch die Vereinfachung können Ungenauigkeiten oder Fehler entstehen. In Bezug auf *Objektivität* müssen die Schüler*innen verstehen, dass die Erkenntnisse nie rein objektiv, sondern subjektiv geprägt sind. Daher können Erkenntnisse fehlerhaft sein. Wie im Kapitel 2.3 bereits ausgeführt, bedeutet das Merkmal *Reproduzierbarkeit*, dass Erkenntnisse reproduzierbar sein müssen. Können Ergebnisse nicht reproduziert werden, wird die Richtigkeit angezweifelt oder widerlegt. Die Aspekte *Beständigkeit und Vorläufigkeit* sowie *Grenzen der Erkenntnisse* zeigen auf, dass Erkenntnisse als fehlerhaft angenommen werden müssen und jederzeit geändert werden können.

Anhand dieser Beispiele auf Grundlage der vier Kompetenzstufen wird deutlich, dass Fehler als integraler Bestandteil von NOS vermittelt

werden können und sollten. Da jedoch in der Kompetenzstufe *NT.1.1* keine konkreten Bezüge zu Fehlern gemacht werden, wird nicht angenommen, dass diese von den Lehrpersonen in diesem Zusammenhang ausreichend thematisiert werden.

Da neben dem fachwissenschaftlichen Wissen zu NOS auch das fachdidaktische Wissen wichtig ist, um geeignete Lernprozesse zu gestalten und zu begleiten, werden im nächsten Kapitel Möglichkeiten zur Vermittlung von NOS betrachtet.

2.5.2 Unterrichtsliche Vermittlung von Nature of Science

Neben den zu vermittelnden Inhalten und Kompetenzen schlägt der schweizerische Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017), wie im Kapitel 2.5.1 beschrieben, implizite, historische und explizite Zugänge für die Vermittlung von NOS vor. Im Nachfolgenden wird eine kurze theoretische Einführung in implizite und explizite Lernprozesse gegeben. Im Anschluss wird auf implizite und explizite Zugänge für die Vermittlung von NOS eingegangen. Der historische Zugang wird im Rahmen des expliziten Zugangs aufgegriffen.

2.5.2.1 Implizite und explizite Lernprozesse

Implizites Lernen wird oft mit Verstärkungslernen ohne Aufmerksamkeit, latentem Lernen, inzidentellem Lernen, unbewusstem Lernen oder prozeduralem Lernen (vgl. Lopes, 2011) gleichgesetzt. Obwohl es teilweise Überlappungen dieser Lernformen gibt, bezeichnen sie nicht die exakt gleichen Lernprozesse (Oerter, 2012). Unter implizitem Lernen wird nach Frensch (1998, S. 76) „der nicht absichtliche, automatische Erwerb von Wissen über strukturelle Beziehungen zwischen Objekten oder Ereignissen“ verstanden. Nach dieser Definition findet implizites Lernen folglich beiläufig und intuitiv statt. Schüler*innen sind sich beim impliziten Lernen eher weniger bewusst, dass sie lernen (Kiesel & Koch, 2012).

Implizites Lernen findet sowohl im Alltag als auch in der Schule ständig statt (Stern, 2009). So lernen die Schüler*innen im Alltag beispiels-

weise das Fahrradfahren, ohne genau zu verstehen, was die Bestandteile des Fahrrads sind, wie ein Fahrrad aufgebaut ist und wie es genau funktioniert (Hofheinz, 2010). Analog dazu lernen die Schüler*innen in der Schule beispielsweise beim Experimentieren zum Thema Säuren und Basen auch etwas über die Arbeitsweisen beim Experimentieren, obwohl diese nicht direkt thematisiert wurden.

Anhand des Beispiels mit dem Lernen des Fahrradfahrens wird deutlich, dass implizites Wissen nicht nach einmaligem Versuch aufgebaut wird, sondern Übung und Wiederholung braucht. Daher ist implizites Lernen zeitintensiv (Stern, 2009).

Im Gegensatz zum impliziten Lernen kann das explizite Lernen gesehen werden, und diesem wird in der Schule größere Bedeutung beigemessen. Beim expliziten Lernen werden Inhalte, Konzepte und Zusammenhänge von den Schüler*innen bewusst erlernt, so zum Beispiel die Funktionsweise eines Fahrrads oder die Arbeitsweisen beim Experimentieren (Kiesel & Koch, 2012). Dabei können die Schüler*innen in kurzer Zeit stark in ihre Wissensstruktur eingreifen (Stern, 2009). Explizites Lernen basiert auf sozialem Austausch, beispielsweise auf Gesprächen oder auch auf der Auseinandersetzung mit Materialien (Stern, 2009). Daher „ist diese Lernform immer an Symbolsysteme wie Sprache, Schrift, mathematische Notationen oder Bilder gebunden“ (Stern, 2009, S. 358). Jedoch ist der explizite Lernprozess nicht an persönliche Erfahrungen gebunden. So können die Schüler*innen beispielsweise etwas über den Aufbau von Atomen lernen, ohne dass sie Atome je gesehen haben (Stern, 2009). Wichtig beim expliziten Lernen ist, dass Inhalte, Konzepte und Zusammenhänge explizit vermittelt werden.

2.5.2.2 Implizite Zugänge für die Vermittlung von Nature of Science

Ein impliziter Zugang zur Vermittlung von NOS bedeutet, dass NOS nicht direkt thematisiert wird und das Lernen darüber beiläufig stattfindet. Da man davon ausgeht, dass beim Erwerb von Wissen in einem Bereich nebenbei auch immer etwas *über* diesen Bereich gelernt wird, nimmt man an, dass Schüler*innen im naturwissenschaftlichen

Unterricht immer auch Wissen *über* Naturwissenschaften erwerben (Hofheinz, 2010).

Der schweizerische Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) schlägt vor, den Erwerb des Wissens über Naturwissenschaften unter anderem durch das Anwenden naturwissenschaftlicher Methoden implizit zu fördern. Naturwissenschaftliche Methoden können im Klassenzimmer beispielsweise beim Durchführen von Versuchen, beim Experimentieren oder beim forschend-entdeckenden Lernen angewendet werden. Mit Versuchen werden „Phänomene mit Material veranschaulicht (z. B. ‚Zeige mithilfe eines Modells, wie das Trommelfell zum Schwingen gebracht wird‘) oder konkrete Messungen durchgeführt (z. B. ‚Bestimme den Siedepunkt von Wasser‘)“ (Metzger, 2019, S. 22). Versuche fokussieren auf die Schritte Planen, Durchführen, Darstellen und Auswerten (Metzger, 2019). Das Experimentieren bezieht sich dagegen immer auf den Erkenntnisgewinnungsprozess wobei Hypothesen verifiziert oder falsifiziert werden (Metzger, 2019). Beim forschend-entdeckenden Lernen arbeiten die Schüler*innen an offenen und komplexen naturwissenschaftlichen Problemen, die zunächst unübersichtlich erscheinen (Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017). Sowohl beim Experimentieren als auch beim forschend-entdeckenden Lernen orientieren sich die Schüler*innen am Experimentierprozess (Abbildung 5).

Der Experimentierprozess hat eine idealtypische Abfolge, welche vom Fragenstellen ausgeht, über Vermuten, Planen, Durchführen, Darstellen, Auswerten sowie Berichten geht und bis zum Weiterdenken führt. Jedoch kann diese Abfolge durchbrochen werden. Einzelne Schritte können weggelassen oder es kann zu bereits durchgeführten Schritten zurückgekehrt werden. Leider kommt es im Unterricht beim Experimentieren oft vor, dass die Fragestellung und die Durchführung von der Lehrperson vorgegeben werden. In diesem Fall handelt es sich nur noch um „kochrezeptartige“ Aufgaben, die die Schüler*innen abarbeiten. Wichtigen Schritte wie Fragen, Vermuten und Planen, werden weggelassen (Metzger, 2019). Da nach Schriebl, Müller und Robin (2022) die Arbeit nach dem Experimentierprozess ein wesentliches Instrument der authentischen naturwissenschaftlichen Untersuchung

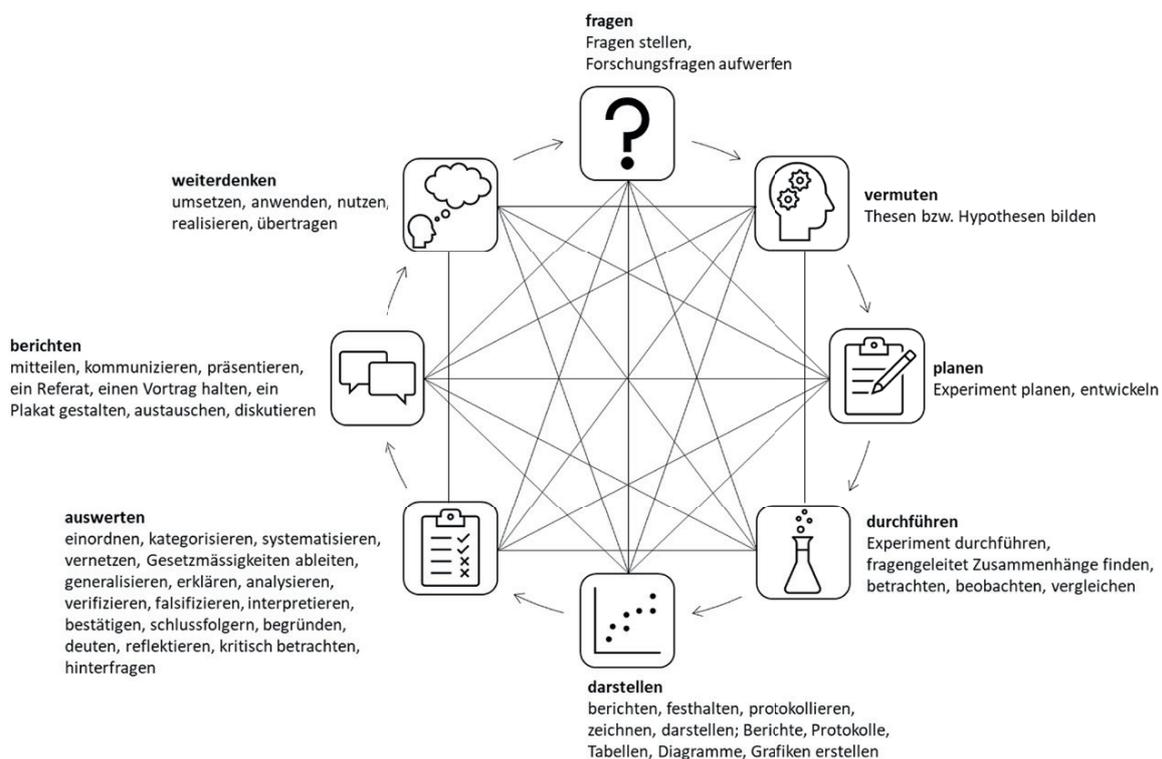


Abbildung 5: Experimentierprozess nach Metzger (2019, S. 23)

ist, wird vor allem das forschend-entdeckende Lernen, das meist dem Experimentierprozess folgt, als authentisch betrachtet. In dieser authentischen Lernform lernen die Schüler*innen im Gegensatz zu den meist „kochrezeptartigen“ Experimentieraufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht viel über wissenschaftliche Prozesse und Vorgehensweisen sowie über die Konstruktion von Wissen (McComas et al., 1998). Es sollte folglich beim forschend-entdeckenden Lernen implizit über NOS gelernt werden können.

Neben dem Anwenden von naturwissenschaftlichen Methoden im Klassenzimmer (beispielsweise beim Durchführen von Versuchen, beim Experimentieren oder beim forschend-entdeckenden Lernen) wird NOS oft auch an außerschulischen Lernorten implizit vermittelt (z. B. Ungermann & Spatz, 2019). Außerschulische Lernorte können unterschiedliche Plätze in der Natur, Museen, Science-Center oder Schüler*innenlabore sein. Die außerschulischen Lernorte bieten den Schüler*innen die Möglichkeit, dass sie reale Begegnungen mit Bezug zur Lebenswelt machen und auf unterschiedliche Weisen und mit allen

Sinnen lernen (Metzger, 2019). Dabei wird angenommen, dass sie auch etwas über NOS lernen (Ungermann & Spatz, 2019).

Einige Schüler*innenlabore haben sich das Ziel gesetzt, das Bild der Schüler*innen von den Naturwissenschaften mehr oder weniger stark in eine positive Richtung zu beeinflussen. Damit wollen sie das oft fehlerhafte und stereotype Bild der Naturwissenschaften verbessern und das Verständnis von NOS fördern (Uhlmann & Priemer, 2010).

Trotz der unterschiedlichen Möglichkeiten, wie NOS implizit vermittelt werden kann, wird der rein implizite Zugang kritisiert. Die Kritik begründet sich darauf, dass unterschiedliche in Interventionsstudien keine Veränderung der Schüler*innenvorstellungen über NOS festgestellt werden konnte, wenn NOS rein beiläufig erworben werden sollte. Dies galt laut den Ergebnissen der Studien auch, wenn der Unterricht attraktiv gestaltet war und die Schüler*innen an offenen experimentellen Aufgaben arbeiteten (z. B. Bell, Blair, Crawford & Lederman, 2003; Hofheinz, 2008). So konnten Khishfe und Abd-El-Khalick (2002) beispielsweise in einer Interventionsstudie zeigen, dass sich die Ansichten der Schüler*innen, die rein implizit an forschend-entdeckenden Aufgaben arbeiteten, nach der Intervention nicht veränderten, wohingegen Schüler*innen, die an denselben forschend-entdeckenden Aufgaben arbeiteten, jedoch explizite Verweise zu NOS-Aspekten machten und Diskussionen über NOS-Aspekte führten, fundiertere Ansichten über einen oder mehrere NOS-Aspekte nach der Intervention hatten.

In Bezug auf den Besuch von Schüler*innenlaboren zeigte sich ein ähnliches Bild. Durch den alleinigen Besuch von Schüler*innenlaboren kann NOS nicht rein implizit vermittelt werden. Dies gilt auch, wenn die Schüler*innenlabore in einem authentischen Umfeld eingebettet sind und die Schüler*innen oft Kontakt mit Wissenschaftler*innen haben. Um das Verständnis von NOS beim Besuch eines Schüler*innenlabors zu fördern, bedarf es auch hier einer expliziten Thematisierung (z. B. Uhlmann & Priemer, 2010).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Schüler*innen beispielsweise durch forschend-entdeckendes Lernen, den Besuch von Schüler*innenlaboren oder außerschulischen Lernorten unterschied-

liche Inhalte und Methodiken der Naturwissenschaften lernen, der Erwerb von Wissen über NOS rein implizit, ohne explizite Thematisierung und Reflexion, jedoch wahrscheinlich nicht ausreichend möglich ist (Hofheinz, 2010).

2.5.2.3 Explizierte Zugänge für die Vermittlung von Nature of Science

Beim expliziten Zugang zur Vermittlung von NOS ist NOS entweder selbst Unterrichtsgegenstand oder Aspekte von NOS werden im Rahmen von anderen Unterrichtstätigkeiten (wie beispielsweise beim Durchführen von Versuchen, beim Experimentieren, beim forschend-entdeckenden Lernen oder beim Besuch von außerschulischen Lernorten) direkt aufgegriffen und thematisiert. Neben dem expliziten Aufgreifen und Thematisieren von NOS-Aspekten ist es wichtig, dass die Aspekte mit bzw. von den Schüler*innen reflektiert und diskutiert werden, damit sie ein adäquates Verständnis von NOS aufbauen können. Die Reflexion und Diskussion stellen wichtige Bestandteile der expliziten Vermittlung dar (Allchin, 2011; Gebhard et al., 2017; Hofheinz, 2008, 2010; McComas, Clough & Nouri, 2020).

Wie im ersten Abschnitt aufgezeigt, eignen sich die beim impliziten Zugang aufgeführten Aufgabenbeispiele wie das Durchführen von Versuchen, das Experimentieren oder das forschend-entdeckende Lernen, um NOS-Aspekte direkt aufzugreifen, zu reflektieren und zu diskutieren. Optimale Rahmenbedingungen für eine explizite Vermittlung bieten Aufgaben bzw. Lerngelegenheiten, die offen und authentisch (Schriebl et al., 2022) sowie kontextualisiert sind (McComas et al., 2020) und eine komplexe Problemstellung darbieten (Gebhard et al., 2017). Diese Rahmenbedingungen werden beispielsweise beim forschend-entdeckenden Lernen geschaffen (vgl. Kap. 2.5.2.2). Optimale Rahmenbedingungen zur expliziten Vermittlung bieten außerdem Schüler*innenlabore, welche eine hohe Authentizität aufweisen (z. B. Uhlmann & Priemer, 2010, 2012; Ungermann & Spatz, 2019). Eine empirische Studie von Uhlmann und Priemer (2012) impliziert, dass bereits eine kurze Intervention von

sechs Stunden einen positiven Effekt auf das Verständnis von NOS hat, sofern ein Aspekt aus dem Bereich NOS explizit gefördert wird. Uhlmann und Priemer (2012) konnten zeigen, dass die 16- bis 18-jährigen Schüler*innen ihre Vorstellungen zum Aspekt *Nature of Experiments* verbessern konnten, indem sie in einem ersten Schritt 20-minütige Interviews mit Wissenschaftler*innen vorbereiteten, diese in einem zweiten Schritt mit den Wissenschaftler*innen führten, anschließend im dritten Schritt kurze Präsentationen erstellten und im vierten und letzten Schritt die Einstellungen und Sichtweisen der Wissenschaftler*innen reflektierten sowie diskutierten und ihren eigenen Sichtweisen gegenüberstellten.

In einer weiteren Studie untersuchten Stamer, David, Höffler, Schwarzer und Parchmann (2021) im Rahmen eines Schüler*innenlaborbesuchs den Effekt von Videos auf das Verständnis von wissenschaftlichen Berufen oder Aktivitäten nach dem RIASEC+N-Modell. Mit dem RIASEC+N-Modell können die unterschiedlichen wissenschaftlichen Facetten kategorisiert werden, die auch in den Konstrukten NOS und NOSI (Nature of Scientific Inquiry) beschrieben werden. Die Abkürzung RIASEC+N steht für Realistic, Investigative, Artistic, Social, Enterprising, Conventional und Networking (Stamer et al., 2021). Das „N“ für Networking wurde von Dierks, Höffler und Parchmann (2014) als siebte Dimension hinzugefügt. Die Ergebnisse aus der Studie von Stamer et al. (2021) zeigten, dass Schüler*innen, die während eines sechsstündigen Schüler*innenlaborbesuchs zusätzlich zu den experimentellen Aufgaben Videos betrachteten, in welchen Wissenschaftler*innen an relevanten und aktuellen wissenschaftlichen Themen arbeiteten, signifikante Steigerungen für zuvor unterschätzte künstlerische (Artistic) und soziale (Social) Arbeitsbereiche zeigten. Außerdem wurde durch die Videos die wahrgenommene Authentizität im Schüler*innenlabor gefördert (Stamer et al., 2021).

Neben Besuchen in Schüler*innenlaboren und Aufgaben zum forschend-entdeckenden Lernen eignen sich beispielsweise auch historische Fallstudien, Fallstudien aus der aktuellen Forschung, Black-Box-Experimente oder szenische Dialoge, um NOS explizit zu thematisieren (Gebhard et al., 2017). Die historischen Fallstudien beziehen sich auf den historischen Zugang zur Vermittlung von NOS, welcher im schweize-

rischen Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) neben dem impliziten und expliziten Zugang aufgeführt ist. Beim historischen Zugang wird NOS bzw. die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, wie sie im Lehrplan dargestellt ist, historisch eingeordnet. NOS wird dabei im Rahmen der Wissenschaftsgeschichte vermittelt. Die Wissenschaftsgeschichte als eigenständige Disziplin beschäftigt sich mit der historischen Entwicklung der Wissenschaften. Sie fokussiert auf die wissenschaftlichen Praktiken (Arbeitsweisen, Methoden), Absichten und Vorstellungen. Die Wissenschaftsgeschichte vereint unterschiedliche Personengruppen wie die früher genannten Gelehrte*innen (Spezialist*innen der unterschiedlichen Disziplinen), Historiker*innen, Soziolog*innen oder Anthropolog*innen und somit unterschiedliche Disziplinen wie beispielsweise Human, Sozial, Geistes- und Naturwissenschaften (Hagner, 2001; Serres, 1994). Auf Grundlage der Wissenschaftsgeschichte können historische Fallstudien in Form von historischen Beispielen, Fällen oder Vignetten eingesetzt (z. B. McComas, 2008) oder über Storytelling vermittelt werden (z. B. Hansson, Arvidsson, Heering & Pendrill, 2019). Im Rahmen dieser historischen Fallstudien können Aspekte von NOS authentisch aufgezeigt und explizit behandelt werden (Allchin, 2012; Gebhard et al., 2017; McComas, 2008). Schüler*innen können dabei beispielsweise nachvollziehen, wie Wissen gewonnen wurde, wie Begriffe und Konzepte eingeführt wurden und wie sich diese allenfalls verändert haben. Außerdem erkennen sie, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse von Menschen im jeweiligen historischen Kontext produziert wurden (Gebhard et al., 2017). Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass NOS auch im Rahmen von historischen Fallstudien nicht implizit, sondern explizit vermittelt werden sollte (Gebhard et al., 2017).

Analog dazu können auch Fallstudien aus der aktuellen Forschung zur expliziten Thematisierung von NOS verwendet werden. Dazu eignen sich Texte aus verschiedenen Medien, aber auch Videos, beispielsweise über Wissenschaftler*innen oder Forschungseinrichtungen oder Videos von Pressekonferenzen. Dadurch wird NOS auf authentische Weise kontextualisiert (Gebhard et al., 2017; Uhlmann & Priemer, 2010). Als aktuelles Beispiel zur expliziten Thematisierung von NOS anhand von

Medienbeiträgen eignet sich die COVID-19-Pandemie (Demirdöğen & Aydın-Günbatar, 2021). Demirdöğen und Aydın-Günbatar (2021) veröffentlichten eine Strategie, um NOS anhand von Medienbeiträgen zu unterrichten, gaben Beispiele für die Verwendung der Berichte und zeigten deren Bezüge zu NOS-Aspekten auf.

Bei Black-Box-Experimenten werden Objekte in einer Box (eventuell mit Schlitz) oder einem Beutel verborgen. Die Schüler*innen wissen nicht, was in der Box oder im Beutel ist. Das Ziel ist, das Innere der Black-Box zu erforschen. Dies kann durch unterschiedliche Vorgehensweisen geschehen. Die Aufgabe der Schüler*innen besteht in der Formulierung von Hypothesen über das Innere der Black-Box sowie deren Überprüfung und Präzisierung. Beim Erforschen kommt es zu unterschiedlichen Beobachtungen und Hypothesen. Ziel ist der Vergleich des eigenen Vorgehens mit den Arbeitsweisen der Naturwissenschaften (Gebhard et al., 2017).

„Die Black Box wird als Analogie zu Erkenntnisproblemen in der Naturwissenschaft, insbesondere dem Problem der Entwicklung von Modellen verwendet. Sie darf nicht geöffnet werden, denn Naturwissenschaftler/innen können z. B. auch nicht in ein Atom hineinschauen, um ein Atommodell zu validieren. Naturwissenschaftler/innen sind – ganz wie bei der Black Box – darauf angewiesen, empirische Evidenz im Lichte ihrer Theorien zu interpretieren“ (Gebhard et al., 2017, S. 102).

Auch szenische Dialoge bieten gute Gelegenheiten, NOS explizit zu thematisieren (Gebhard et al., 2017). „In szenischen Dialogen treffen historische Protagonisten der Naturwissenschaften aufeinander, um sich über ihre widerstreitenden Ideen und Konzepte auszutauschen“ (Gebhard et al., 2017, S. 102). Die so entstandenen Situationen sind fiktiv. Daher können auch Naturwissenschaftler*innen aus unterschiedlichen Epochen aufeinandertreffen. Divergente und teilweise komplexe Themen werden als Dialoge präsentiert und können nachgestellt oder gelesen werden. Dabei können unterschiedliche NOS-Aspekte wie verschiedene Arbeitsweisen, das Verhältnis von Theorie und Empirie, die Veränderbarkeit des wissenschaftlichen Wissens und der Einfluss der Kultur und der historischen Zeit aufgegriffen werden (Gebhard et al., 2017).

Anhand der unterschiedlichen Lerngelegenheiten und Aufgabenbeispiele konnte aufgezeigt werden, dass es viele verschiedene Möglichkeiten gibt, NOS explizit zu thematisieren. Optimale Rahmenbedingungen für eine explizite Thematisierung bieten Aufgaben bzw. Lerngelegenheiten, die offen und authentisch (Schriebl et al., 2022) sowie kontextualisiert (McComas et al., 2020) sind und eine komplexe Problemstellung darbieten (Gebhard et al., 2017). Mit der expliziten Thematisierung einhergehen sollten immer eine Diskussion und Reflexion, denn diese stellen die wohl zentralsten Elemente dar, damit Schüler*innen ein adäquates Verständnis von NOS entwickeln können (Abd-El-Khalick, 2013; Höttecke & Rieß, 2007; McComas et al., 2020).

2.5.2.4 Möglichkeiten zur Thematisierung von Fehlern im Rahmen der Vermittlung von NOS

Aufgrund der Ausführungen zur impliziten und expliziten Thematisierung von NOS bzw. NOS-Aspekten wird angenommen, dass auch Fehler im Rahmen von NOS explizit thematisiert werden müssen, damit Schüler*innen die Bedeutung sowie die Stellung der Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung erkennen. Fehler können dabei bei allen aufgeführten Lerngelegenheiten und Aufgabenbeispielen thematisiert werden. Besonders geeignet sind die historischen Fallstudien, denn die Wissenschaftsgeschichte hält viele Beispiele von Fehlern, Fehlschlägen und Irrtümern bereit. Anhand dieser kann verdeutlicht werden, dass auch die besten Wissenschaftler*innen Fehler gemacht haben. Zudem kann aufgezeigt werden, wie Fehler passierten und wie diese behoben wurden (Allchin, 2012). Allchin (2003, S. 329) weist darauf hin, dass „Erzählungen von Irrtümern und deren Bewältigung das Wesen der Naturwissenschaften und insbesondere ihre Grenzen verdeutlichen“. Eine historische Einbettung ist nach Allchin (1995) zum Lernen aus Fehlern zentral, denn ohne diese würden die Fehler aus heutiger Sicht als pathologische Irrtümer betrachtet werden.

Ein Vorteil bei der Thematisierung von Fehlern im Rahmen der historischen Fallstudien ist, dass die Fehler der Naturwissenschaftler*innen

von den Schüler*innen mit einer emotionalen Distanz betrachtet werden können, da es sich nicht um ihre eigenen Fehler handelt (Allchin, 2012).

Allgemein ist bei der Thematisierung von Fehlern im Rahmen von NOS wichtig, die Bedeutung und Stellung der Fehler nicht nur explizit zu thematisieren, sondern diese mit den Schüler*innen auch zu diskutieren und zu reflektieren (McComas et al., 2020). Dabei ist es hilfreich, die Vorstellungen der Schüler*innen über NOS zu kennen. Wie sich Schüler*innenvorstellungen entwickeln und welche Vorstellungen sie über NOS haben, wird im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

2.5.3 Schüler*innenvorstellungen über Nature of Science

2.5.3.1 Definition Vorstellung

Unter einer Vorstellung versteht man einen Bewusstseinsinhalt (Prechtl & Burkhard, 2008), der dadurch entsteht, dass sich jemand eine gewisse Sache in bestimmter Weise vorstellt (Dudenredaktion, o. J.). Dieser Bewusstseinsinhalt oder das Bild, das man mit seinen Gedanken kreiert, ist individuell. Zwei Schüler*innen haben folglich nicht die gleiche Vorstellung über das Konzept NOS (Dudenredaktion, o. J.; Prechtl & Burkhard, 2008; Schecker & Duit, 2018).

2.5.3.2 Entwicklung von Schüler*innenvorstellungen

Schüler*innenvorstellungen entstehen durch das Lernen in der Schule, im Falle der Vorstellung über NOS hauptsächlich im Naturwissenschaftsunterricht. Größtenteils aber werden die Vorstellungen in außerschulischen Kontexten entwickelt. Einen großen Einfluss auf Schüler*innenvorstellungen haben die Alltagssprache, Alltagserfahrungen sowie Massenmedien (Schecker & Duit, 2018). Unter Bezug auf Höttecke und Rieß (2015), Kremer und Mayer (2013), Sandoval (2005), Seidel et al. (2006), Tesch und Duit (2004) und Weingart (2003) zeigen Höttecke und Hopf (2018) auf, dass gerade Massenmedien wie Filme und Serien, aber auch Produktwerbung oftmals ein falsches Bild von Naturwissenschaften und Naturwissenschaftler*innen vermittelt. Höttecke

und Rieß (2015) führen zudem auf, dass Schüler*innenvorstellungen zu NOS nicht kohärent und konsistent sind. Die Schüler*innenvorstellung in Bezug auf die Erkenntnisgewinnung und das naturwissenschaftliche Wissen kann in der Schule als immer gleich bzw. unveränderbar angesehen werden, während diese Schüler*innenvorstellung in Bezug auf Naturwissenschaftler*innen abweichen kann. So kann es vorkommen, dass die Schüler*innen die Vorstellung haben, dass Naturwissenschaftler*innen Erkenntnisse auf unterschiedliche Weise gewinnen und neues Wissen konstruiert wird (Höttecke & Hopf, 2018).

2.5.3.3 Schüler*innenvorstellungen zu Nature of Science

Höttecke und Hopf (2018) führen unter Bezug auf Mead und Méraux (1957) aus, dass Schüler*innen die Vorstellung haben, dass Naturwissenschaftler*innen Männer in einem weißen Kittel sind. Diese Männer werden als seltsam und eher unattraktiv wahrgenommen. Oft tragen sie einen Bart und sind nicht gekämmt. Sie arbeiten in einem Labor, haben kaum Freizeit und leben ausschließlich für ihre Forschung. Naturwissenschaftler sind sehr intelligent und kreativ, aber auch geheimniskrämerisch und arbeiten an gefährlichen Dingen. Weiter führen Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Aikenhead (1987) und Larochelle und Désautels (1991) aus, dass sich Schüler*innen vorstellen, dass Naturwissenschaftler*innen neugierig sind, Gutes tun wollen und durch ihr Interesse an den Naturwissenschaften angetrieben werden. Zudem legen Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Larochelle und Désautels (1991) dar, dass sich viele Schüler*innen Naturwissenschaftler*innen zwar als intelligent und kreativ vorstellen, jedoch auch denken, dass Naturwissenschaftler*innen neutrale und passiv-aufnehmende Denker sind. Dieser Widerspruch in ihrer Vorstellung stellt für die Schüler*innen kein Problem dar.

Des Weiteren zeigen Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Driver, Leach, Millar und Scott (1996) auf, dass Schüler*innen die Vorstellung haben, dass der typische männliche Naturwissenschaftler allein arbeitet und forscht. Diese Schüler*innenvorstellung wird nach Höt-

tecke (2004) durch den naturwissenschaftlichen Unterricht verstärkt, da beispielsweise Newton oder Einstein in den Schulbüchern als allwissende und allein arbeitende Naturwissenschaftler dargestellt werden.

Dieses Bild prägt nicht nur die Vorstellung über NOS, sondern auch den naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Schüler*innen sind beim naturwissenschaftlichen Arbeiten mehrheitlich auf sich allein gestellt (Crawford, 2006). Wenn im naturwissenschaftlichen Unterricht in Gruppen gearbeitet wird, ist dies oft nur eine Arbeitsteilung, damit in der kurzen Zeit möglichst viel behandelt werden kann (Anderson, 2010). Nach Clough und Clark (1994) wäre es gut, die Schüler*innen in kleinen Gruppen arbeiten zu lassen, damit sie ihr Wissen teilen können. Dabei sollen sie beispielsweise besprechen, wie die Konstruktion eines Versuchsaufbau zu einem gegebenen Problem aussieht, wie sie Daten sammeln und wie sie diese beurteilen und interpretieren.

Darüber hinaus führen Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Larochelle und Désautels (1991) aus, dass die Vorstellung der Schüler*innen zum naturwissenschaftlichen Wissen durch den naturwissenschaftlichen Unterricht beeinflusst wird. Der vermittelte Inhalt mit Formeln und Gesetzen wird als gesichert und unveränderbar angesehen. Diese Vorstellung ist so stark ausgeprägt, dass auch Zwischenüberlegungen und Alternativen verworfen werden, sobald etwas auf der Tafel oder dem Papier fixiert wurde. Außerdem legen Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Meyling (1997), Songer und Linn (1991) dar, dass die Schüler*innenvorstellungen stark zu einem naiven Realismus tendieren. Dabei bildet das Wissen die Natur nach: Gesetze „stecken“ in der Natur und würden von Naturwissenschaftler*innen entdeckt oder gefunden. Schüler*innen haben entsprechend die Vorstellung, dass das Wissen der Wirklichkeit entspricht. Folglich stellen sie sich nicht vor, dass das Wissen prinzipiell vorläufig und über die Zeit gewachsen ist und angepasst wurde.

Nach Höttecke und Hopf (2018) unter Bezug auf Buffler, Lubben und Ibrahim (2009), Carey, Evans, Honda, Jay und Unger (2007), Heinicke und Heering (2013), Höttecke (2001a), Lubben und Millar (1996) und K. Meyer und Carlisle (1996) stellen sich Schüler*innen das Experimen-

tieren als Ausprobieren oder Herausfinden und nicht als zielgerichtetes Handeln vor. Daher verstehen sie auch nicht, warum beispielsweise Hypothesen formuliert und Experimente wiederholt werden sollen. Des Weiteren werden Geräte und Materialien unsystematisch ausgewechselt.

Nach Höttecke und Hopf (2018, S. 280) unter Beizug auf Höttecke und Hopf (2018) unter anderem auf Aikenhead (1987), Driver et al. (1996), Henke und Höttecke (2013), Höttecke und Rieß (2015), Krüger (2017), Meyling (1997) sowie A. G. Ryan und Aikenhead (1992) stellen sich die Schüler*innen in Bezug auf den naturwissenschaftlichen Konsens vor, dass „eindeutiges Datenmaterial ‚die Wahrheit‘ einer Theorie belege und daher zur deren Anerkennung führe“. Außerdem glauben sie nicht oder eher wenig, dass außerwissenschaftliche Faktoren, wie beispielsweise ökonomische Interessen, die Naturwissenschaften beeinflussen. Bezüglich des sozialen Faktors haben die Schüler*innen die Vorstellung, dass dieser nur bei unklaren Fakten wichtig ist. Die Mehrheit der Schüler*innen vertritt außerdem die Vorstellung, dass die Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften aus einer fixen Abfolge von Schritten bestehe. Diese Abfolge müsse stets strikt befolgt werden. Daher stellen sie sich den Erkenntnisweg linear und unverzweigt vor.

2.5.3.4 Schüler*innenvorstellungen zu Fehlern als NOS-Bestandteile

Empirische Ergebnisse über Schüler*innenvorstellungen zu Fehlern als NOS-Bestandteile gibt es bislang nicht. Jedoch kann aus den Vorstellungen zu NOS abgeleitet werden, dass Fehler für Schüler*innen eher nicht zur Erkenntnisgewinnung gehören. Dies zeigt sich, da Naturwissenschaftler*innen oft als allwissend dargestellt werden (Höttecke, 2004), die Schüler*innen die vermittelten Inhalte mit Formeln und Gesetzen als gesichert und unveränderbar ansehen (Höttecke & Hopf, 2018; Larochelle & Désautels, 1991), sie die Vorstellung haben, dass das naturwissenschaftliche Wissen der Wirklichkeit entspricht und sich folglich nicht verändern kann (Höttecke & Hopf, 2018; Meyling, 1997; Songer & Linn, 1991), und sie nicht verstehen, warum Experimente wiederholt werden müssen oder nach der Variablen-Kontroll-Strategie gearbeitet

werden muss (Buffler et al., 2009; Carey et al., 2007; Heinicke & Heering, 2013; Höttecke, 2001a; Höttecke & Hopf, 2018; Lubben & Millar, 1996; K. Meyer & Carlisle, 1996).

2.6 Fehler im Lehr-Lern-Kontext

In den Kapiteln 2.1–2.5 wurde aufgezeigt, dass Fehler eine bedeutende Rolle in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung spielen und dass Fehler ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht. Doch was wird unter Fehlern verstanden? Diese Frage und die Frage, wie mit Fehlern im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht umgegangen werden sollte, werden in diesem Kapitel beantwortet.

2.6.1 Definition Fehler im (NT-)Lehr-Lern-Kontext

Fehler werden im Lehr-Lern-Kontext häufig nach Kobi (1994) beschrieben, welcher Fehler als etwas definiert, das von einer Norm abweicht. Daher können Fehler nur dort passieren, wo etwas genormt ist. Dies setzt voraus, dass die Normen im Unterricht bekannt sind, damit die Schüler*innen davon abweichen und daher einen Fehler machen können (Kobi, 1994). Ein Fehler im Unterricht ist beispielsweise ein schriftliches oder verbales Ergebnis oder eine Handlung, die von einer Norm abweicht (Heinicke & Holz, 2020). Im Unterricht gibt es nicht nur fachliche Fehler, sondern auch soziale oder moralische. Zu den fachlichen Fehlern gehören alle Fehler, die mit dem Unterrichtsstoff, genauer mit den fachlichen Inhalten des Unterrichts, zu tun haben (Oser, Hascher & Spsychiger, 1999). Da auch bei den sozialen und moralischen Fehlern von einer Normabweichung gesprochen wird, ist anzunehmen, dass zu den sozialen Fehlern beispielsweise Fehlverhalten im Unterricht wie Unterrichtsstörungen oder Regelverletzungen/-verstöße gehören. Bei den moralischen Fehlern im Unterricht ist anzunehmen, dass dazu unter anderem das Spicken, Lügen, Täuschen oder das Andere-in-die-Irre-zuführen gezählt wird.

Auch in der vorliegenden Arbeit wird auf die Definition von Kobi (1994) zurückgegriffen. Fehler werden wie folgt definiert: Ein Fehler ist ein von der Norm abweichendes schriftliches oder verbales Ergebnis oder eine von der Norm abweichende Handlung (Kobi, 1994; Heinicke & Holz, 2020). Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen die fachlichen Fehler, folglich also von der fachlichen Norm abweichende schriftliche oder verbale Ergebnisse sowie von der fachlichen Norm abweichende Handlungen. Schriftliche Fehler sind auf Arbeitsblättern, Prüfungen, in digitalen Dokumenten wie Word-Dateien oder Powerpoint-Präsentationen zu finden. Verbale Fehler können bei allen mündlichen Äußerungen im Unterricht passieren, so zum Beispiel beim Nennen einer Antwort, bei Unterrichtsgesprächen oder bei Präsentationen. Fehler bei einer Handlung kommen im naturwissenschaftlichen-technischen Unterricht beispielsweise beim Experimentieren oder beim Zusammenbauen von technischen Geräten vor.

2.6.2 Umgang mit Fehlern im Unterricht

Erst durch die Arbeit von Fritz Oser und seinem Team Oser et al. (1999) etablierte sich der Begriff Fehlerkultur im Schulunterricht im deutschsprachigen Raum (Meyer et al., 2006). Obwohl Körperstrafen oder gezieltes Bloßstellen aufgrund eines Fehlers heute selten geworden sind, reicht die Spannbreite des Umgangs mit Fehlern im Unterricht auch heute noch von Fehleroffenheit über Fehlertoleranz bis hin zu Fehlervermeidung und Fehlersanktionierung (Heinicke & Holz, 2020; Spychiger et al., 2006). Der Begriff Fehlerkultur zeigt, dass der Umgang mit Fehlern im Unterricht in eine positive Richtung gehen sollte. Im Gegensatz zum Fehler ist der Begriff Kultur meist positiv konnotiert (Caspary, 2008). In einer positiven Fehlerkultur im Unterricht soll das Lernpotenzial des Fehlers im Fokus stehen und dieses „durch einen konstruktiven und lernförderlichen Umgang angegangen werden“ (Spychiger et al., 2006, S. 88), denn entscheidend dafür, ob ein Fehler lernhinderlich ist oder ob er einen Lernprozess in Gang setzt, ist der Umgang mit ihm (Kreutzmann, Zander & Hannover, 2014).

Im Unterricht wird in Bezug auf den Umgang mit Fehlern zwischen Lehrperson und Schüler*innen unterschieden. In einer positiven Fehlerkultur haben sowohl die Lehrperson als auch die Schüler*innen einen positiven Umgang mit Fehlern. Dies bedeutet, dass der Unterricht von der Lehrperson fehlerfreundlich gestaltet wird, die Lehrperson den Schüler*innen die Normen bekanntgibt, die Schüler*innen die Fehler als Lerngelegenheiten ansehen und die Schüler*innen keine zu große Angst vor Fehlern oder dem Fehlermachen haben (Spychiger et al., 2006).

Um die Fehlerkultur in den 4. bis 9. Klassen zu erfassen, entwickelten Spsychiger et al. (2006) den Schüler*innenfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht (SchüFekU). Dieser enthält die vier Skalen *Fehlerfreundlichkeit*, *Normtransparenz*, *Lernorientierung* und *Fehlerangst* und umfasst 28 Items. Mit den Items der Skala *Fehlerfreundlichkeit* schätzen die Schüler*innen das Verhalten und Befinden ihrer Lehrperson in Fehler-situationen ein (z. B.: „Die Lehrerin ist geduldig und schimpft nicht mit mir, wenn mir etwas nicht gelingt“; (Spychiger et al., 2006, S. 99)). Die Skala *Normtransparenz* erfasst den Umgang mit Regeln und Normen, wobei die Items das Verhalten der Lehrperson adressieren, aber in Ich-Form formuliert sind (z. B.: „Ich weiß oft nicht, warum ich im Unterricht von meiner Lehrerin angeschnauzt werde“; (Spychiger et al., 2006, S. 100)). Die Items der Skala *Lernorientierung* „sind als Ich-Aussagen formuliert. Die Schüler*innen nehmen Selbsteinschätzungen vor. Inhaltlich adressieren sie den Umgang mit Fehlern im kognitiven Bereich“ (Spychiger et al., 2006, S. 96). Die Items beziehen sich auf einstellungsbezogene, leistungsmotivationale und reflexive Aspekte der Lernorientierung (z. B.: „Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehmen ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen“; (Spychiger et al., 2006, S. 97)). Auch die Items der Skala *Fehlerangst* sind als Ich-Aussagen formuliert. Neben der Angst werden aber auch die Scham und Selbstvorwürfe bzw. Schuldgefühle angesprochen (z. B.: „Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache“; (Spychiger et al., 2006, S. 101)). Zur Fehlerangst ist anzumerken, dass mittlere Werte auf eine gute Fehlerkultur hinweisen und nicht, wie anzunehmen, tiefe Werte (Spychiger et al., 2006). Auf die Fehlerangst wird weiter unten konkreter eingegangen.

In der Schweiz werden die Lehrpersonen von den Schüler*innen mehrheitlich als fehlerfreundlich eingeschätzt, wohingegen die Schüler*innen ihre eigene Fehlerlernorientierung als eher gering einschätzen (Spychiger et al., 2006). In Bezug auf die Normtransparenz ergab sich,

„dass nicht in der Schweiz geborene und aufgewachsene [Schüler*innen] die Normtransparenz in ihrer Schule signifikant geringer einschätzen als Schweizer Schüler*innen oder in der Schweiz geborene [Migrant*innen]. Erstere haben mehr Mühe, sich im Unterrichtsalltag zu orientieren und befinden sich öfter in Situationen, in denen sie nicht genau wissen, warum sie einen Fehler gemacht haben“ (Spychiger et al., 2006, S. 94).

Dieses Ergebnis ist nicht nur auf Sprachprobleme oder Lernprobleme zurückzuführen, sondern auch auf die Kultur, denn je nach Kultur gelten im Unterricht andere Normen, sowohl im sozialen als auch im fachlichen Bereich. Natürlich können diese Probleme auch bei Schweizer Schüler*innen auftauchen, sofern ihnen die Normen nicht bekannt sind (Spychiger et al., 2006). Weiter konnten Spsychiger et al. (2006) feststellen, dass Schüler*innen, die die Normtransparenz hoch einschätzten, in Fehlersituationen weniger negative Emotionen wahrnahmen als Schüler*innen, die die Normtransparenz gering einschätzten. Weiter unten wird auf erlebte Emotionen in Fehlersituationen eingegangen.

Um den Unterricht fehlerfreundlich zu gestalten, muss die Lehrperson eine positive Einstellung zu Fehlern haben und das Lernpotenzial von Fehlern erkennen (Spychiger, Oser, Hascher & Mahler, 1999). Außerdem gehören eine Gesprächsbereitschaft der Lehrperson, eine passende Körpersprache und nonverbale Kommunikation (Verbleiben der Lehrperson in der Situation, Hinwendung zu den Schüler*innen und Blickkontakt) zu den Kriterien eines positiven Umgangs mit Fehlern. Des Weiteren muss der Umgang mit Fehlern je nach Schüler*in individualisiert werden und die Lehrperson muss fähig, aber auch bereit sein, „sich in den Denkprozess des Schülers zu versetzen und daran anzuknüpfen“ (Spychiger et al., 1999, S. 48). Dies fordert von der Lehrperson, dass sie bei den einzelnen Schüler*innen weiß, welchen Wissensstand sie haben, wie sie denken und wie sie auf Fehler reagieren. Ein lernförderlicher Umgang der Lehrpersonen mit Fehlern erfordert

folglich sowohl „fachbezogenes“ als auch „lernprozess-“ und „personenbezogenes Wissen“ (Spychiger et al., 1999, S. 48), damit Schüler*innen optimal aus ihren Fehlern lernen können. Das personenbezogene Wissen wird nachfolgend etwas genauer beleuchtet.

2.6.2.1 Umgang mit Fehlern und Emotionen

Schüler*innen können unterschiedliche Emotionen nach einem Fehler wahrnehmen. Bereits seit 1980 ist bekannt, dass Schüler*innen neben negativen Emotionen auch positive Emotionen nach einem Misserfolg empfinden können. Diener und Dweck (1980) und Dweck und Leggett (1988) stellten fest, dass einige Schüler*innen nach einem Fehler negative Emotionen wie Ärger und Langeweile, andere nach innen gerichtete Emotionen wie Angst, Traurigkeit oder Scham erlebten und wiederum andere positive Emotionen empfanden. In einer etwas neueren Studie von Tulis und Ainley (2011) wurden die Erkenntnisse von Diener und Dweck (1980) und Dweck und Leggett (1988) bestätigt, mit Zahlen belegt und erweitert. Auch sie konnten aufzeigen, dass Schüler*innen sowohl negative Emotionen als auch positive Emotionen nach einem Fehler erleben konnten. 38 % der 182 befragten Fünftklässler*innen gaben an, negative Emotionen zu empfinden, wobei 33 % konkret Ärger und Langeweile und 5 % Angst und Niedergeschlagenheit (Traurigkeit, Scham) nannten. 16 % gaben an, positive Emotionen wie Interesse, Freude und Stolz nach einem Fehler wahrzunehmen. Außerdem stellten Tulis und Ainley (2011) fest, dass der größte Teil (46 %) angab, keine Emotionen nach einem Fehler zu empfinden.

Nach Pekrun et al. (2006) kann eine positive Einstellung der Schüler*innen zu Fehlern positive Emotionen fördern und negative Emotionen reduzieren. Daher ist anzunehmen, dass Schüler*innen, die einen positiven Umgang mit Fehlern haben, also Fehler als Lerngelegenheit sehen, positivere Emotionen nach einem Fehler erleben als Schüler*innen, die keinen positiven Umgang mit Fehlern haben.

Hascher und Hagenauer (2010) konnten in einer Interviewstudie mit 72 Schüler*innen unterschiedlicher Klassenstufen (3., 5., 7., 9., 11. und

13. Klasse) aufzeigen, dass vor allem öffentliche Fehler besonders negativ erlebt werden. Die Schüler*innen gaben an, „sich schlecht gefühlt (26 Nennungen) oder geschämt (6 Nennungen) zu haben, enttäuscht gewesen (4 Nennungen) oder wütend geworden zu sein (2 Nennungen)“ (Hascher & Hagenauer, 2010, S. 379). Sich unsicher oder dumm zu fühlen oder verzweifelt oder traurig sein beschrieben 19 Schüler*innen (Hascher & Hagenauer, 2010). Als Hauptursachen für diese negativen Emotionen sehen Hascher und Hagenauer (2010) das Erleben von Inkompetenz und eine verfehlte Leistungserbringung. Eine große Ursache spielen aber auch soziale Aspekte, konkret der Umgang der Lehrperson und der Mitschüler*innen mit Fehlern. Obwohl einige Schüler*innen von unerwünschten Lehrpersonenreaktionen, wie Ärger oder Bloßstellen, berichteten und andere darauf verwiesen, dass die Lehrperson Fehler ignorierte, wurde meist ein positives Lehrpersonenverhalten, das sich durch Verständnis oder Unterstützung zeigte, erwähnt. Wesentlich häufiger wurde auf das unerwünschte Verhalten der Mitschüler*innen verwiesen. Schüler*innen fühlten sich in Fehlersituationen eher deshalb schlecht, weil die Mitschüler*innen zu Zeug*innen der Fehler wurden, weil sie möglicherweise ausgelacht wurden oder weil sie bei den Mitschüler*innen auf Unverständnis stießen und wenig Unterstützung von diesen erfuhren (Hascher & Hagenauer, 2010). Hascher und Hagenauer (2010) vermuten, dass der große Einfluss durch die Mitschüler*innen darauf zurückzuführen ist, dass die Schüler*innen sich stark untereinander vergleichen und ein instabiles Selbstkonzept haben. Doch nicht nur öffentliche Fehler können als negativ erlebt werden. Auch Fehler, die in Einzelarbeit passieren, auch wenn sie erst durch Selbstkorrektur (z. B. bei dem Vergleich mit einer Musterlösung) entdeckt werden, können negativ empfunden werden. Letzteres ändert sich aber im Verlauf der Schuljahre. Ältere Schüler*innen nehmen „unentdeckte Fehler“ als emotional weniger belastend wahr als jüngere Schüler*innen. Die Mehrheit der Oberstufenschüler*innen gibt an, sich normal oder neutral zu fühlen (Hascher & Hagenauer, 2010). Die Ergebnisse von Hascher und Hagenauer (2010) weisen somit darauf hin, dass nicht nur der Umgang der Lehrpersonen und der Umgang der Schüler*innen

selbst, sondern auch der Umgang der Mitschüler*innen bedeutend für eine positive Fehlerkultur ist.

Nach Untersuchungen von Spychiger et al. (2006) sollen negative Emotionen nach einem Fehler aber nicht gänzlich verhindert werden. Ein gewisses Ausmaß an negativen Emotionen kann sich positiv auf die Weiterarbeit auswirken, beispielsweise kann die Bereitschaft zum Finden der richtigen Lösung gefördert werden. Indikatoren, dass Fehler ernst genommen werden, sind Angst oder Scham, denn Schüler*innen, die Angst und Scham empfunden haben, wollen das nächste Mal nicht wieder in diese unangenehme Gefühlslage geraten und versuchen daher, ihre Leistung zu steigern, um den Fehler nicht noch einmal zu machen. Stark ausgeprägte negative Emotionen, vor allem große Angst, wirken sich dagegen lernhinderlich aus und können zu einem Leistungszusammenbruch führen. Interessanterweise korrelieren niedrige Werte mit einer niedrigen Fehlerkultur. Das bedeutet, dass Schüler*innen, die keine Angst vor Fehlern haben, diese auch eher nicht als Lerngelegenheit ansehen (Spychiger et al., 2006). Es wird vermutet, „dass die Abwesenheit von negativen Emotionen auf Gleichgültigkeit und mangelnde Aufmerksamkeit dem Fehlergeschehen [...] verweist“ (Spychiger et al., 2006, S. 92). Daher wird angenommen, dass sich ein gewisses Ausmaß an negativen Emotionen positiv auf den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern auswirkt (Spychiger et al., 2006).

Nach Dresel et al. (2013) reagieren Schüler*innen häufig maladaptiv, wenn sich ihre Emotionen und ihre Motivation aufgrund von Fehlern verschlechtern. In ihrer Studie konnten zwei Arten von Fehlerreaktionen unterschieden werden, die affektiv-motivationale Adaptivität und die Handlungsadaptivität:

„Die affektiv-motivationale Adaptivität von Fehlerreaktionen bezieht sich auf die Aufrechterhaltung von Lernfreude und Lernmotivation sowie die Regulation negativer Emotionen und damit verbundener motivationsrelevanter Kognitionen (z. B. aufgabenirrelevante Gedanken, Selbstzweifel). [...] Die Handlungsadaptivität von Fehlerreaktionen bezieht sich dagegen auf Prozesse des selbstregulierten Lernens im Zusammenhang des Fehlers, u. a. die Analyse des Fehlers in Bezug auf bestehende Wissensdefizite, die Bildung passender Handlungsintentionen und die Realisierung von Lernhandlungen, um Fehler zu überwinden“ (Dresel et al., 2013, S. 256).

Dresel et al. (2013, S. 255) konnten aufzeigen, dass beide Arten von Fehlerreaktionen „Zusammenhänge mit Motivation (Attributionsstil, Fähigkeitsselbstkonzept, Zielorientierungen, implizite Fähigkeitstheorie, subjektiver Wert) sowie Erleben und Verhalten in Lern- und Leistungssituationen (Hilflosigkeit, Anstrengung, selbstreguliertes Lernen)“ aufwiesen. Außerdem zeigten die Ergebnisse, dass Schüler über eine höhere affektiv-motivationale Adaptivität von Fehlerreaktionen in Mathematik berichten als Schülerinnen (Dresel et al., 2013).

2.6.2.2 Umgang mit Fehlern und Motivation

Nach Schumacher (2008) führt die erfolgreiche Überwindung von Fehlern zu einer höheren Lernmotivation. Bei der Lernmotivation wird zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden, wobei die intrinsische Motivation als zentraler Antrieb für das Lernen gesehen wird, denn intrinsisch motivierte Schüler*innen erledigen beispielsweise eine Aufgabe aus einem innerem Antrieb heraus, das heißt aus Spaß oder um die Herausforderung zu bewältigen. Extrinsisch motivierte Schüler*innen erledigen eine Aufgabe aufgrund eines externen Reizes oder eines externen Faktors, beispielsweise um eine gute Note oder eine Belohnung oder ein Lob von den Eltern zu erhalten (R. M. Ryan & Deci, 2000). Schuhmacher (2008) führt weiter aus und konkretisiert, dass sich vor allem intrinsisch motivierte Schüler*innen weniger leicht vom Lernen abbringen lassen, wenn sie einen Fehler machen, als extrinsisch motivierte Schüler*innen.

In Bezug auf die Lernmotivation in den MINT-Fächern zeigt sich ein Geschlechterunterschied, wobei Schüler meist eine höhere Lernmotivation haben als Schülerinnen (z. B. Oppermann, Keller & Anders, 2020). Die intrinsische Motivation scheint über die Schuljahre zu schwinden, wobei dies vom Fach abhängt. Im Fach Mathematik scheint die intrinsische Motivation am stärksten zu sinken (Gottfried, Fleming & Gottfried, 2001). Daher wird angenommen, dass jüngere Schüler*innen eine höhere intrinsische Motivation in MINT-Fächern haben als ältere.

2.6.2.3 Umgang mit Fehler und Selbstwirksamkeitserwartung

Fehler haben weiter einen Einfluss auf die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen. Nach Schunk und Usher (2012) können Fehler die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen verringern, während Erfolge, wie zum Beispiel richtig gelöste Aufgaben, die Selbstwirksamkeitserwartung erhöhen können. Schüler*innen mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung halten bei Fehlern eher durch, gewinnen nach einem Fehler das Gefühl der Selbstwirksamkeit zurück und berichten über positivere Gefühle als Schüler*innen mit einer geringeren Selbstwirksamkeitserwartung. Folglich geben Schüler*innen mit geringer Selbstwirksamkeit eher auf, wenn sie Fehler machen, und erleben nach einem Fehler eher negative Gefühle. Wichtig ist hierbei anzumerken, dass Fehler jedoch nicht immer mit geringer Selbstwirksamkeit einhergehen müssen (Schunk & Usher, 2012). Kreuzmann et al. (2014) konnten mit ihrer Studie ergänzende Ergebnisse zum Einfluss der Fehler auf die Selbstwirksamkeitserwartung liefern. Sie konnten die von Spychiger et al. (2006) genannten Aspekte des Umgangs der Schüler*innen mit Fehlern, namentlich die Fehlerlernorientierung und die Fehlerangst, als Prädiktoren der schulischen Selbstwirksamkeit sowie der Lernfreude und Anstrengungsbereitschaft identifizieren.

Auch in Bezug auf die Selbstwirksamkeitserwartung zeigt sich in den MINT-Fächern ein Geschlechterunterschied. Schüler scheinen in den MINT-Fächern eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung zu haben als Schülerinnen (Williams & George-Jackson, 2014).

Zudem scheint die fachbezogene Selbstwirksamkeitserwartung von Schüler*innen in den naturwissenschaftlichen Fächern über die Sekundarstufe I signifikant abzunehmen (z. B. Körner, Heim-Dreger & Hinderberger, 2012). Diese Abnahme ist aber nicht in Bezug auf Technik zu bemerken. In diesem Fall ist eine leichte Zunahme festzustellen, je älter die Schüler*innen sind (z. B. Ziefele & Jakobs, 2009). Die Ergebnisse in Bezug auf das Computerwissen sind heterogen. Während Ziefele und Jakobs (2009) eine leichte Zunahme beobachteten, ergaben die Ergebnisse der Studie von Simsek (2011), dass jüngere Schüler*innen eine

höhere Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Computerwissen haben als ältere Schüler*innen.

2.6.2.4 Förderung eines konstruktiven Umgangs mit Fehlern

In Anlehnung an Oser et al. (1999) kann ein konstruktiver Umgang mit Fehlern im Unterricht mit der folgenden 3-Schritte-Methode beschrieben werden:

1. Fehler erkennen
2. Fehler verstehen
3. Fehler verbessern

Im ersten Schritt geht es darum, dass Schüler*innen identifizieren, was sie falsch gemacht haben. Im zweiten Schritt soll der Fehler durch die Klärung der Fehlerursache verstanden werden. Dabei wird die Frage nach dem Warum beantwortet. Erst wenn verstanden wurde, warum der Fehler passiert ist, kann dieser im dritten Schritt verbessert werden. Es ist wichtig, dass die Schüler*innen alle drei Schritte durchlaufen. Gerade dem Verbessern von Fehlern wird im Unterricht meist keine oder zu wenig Zeit eingeräumt. Dadurch passiert es, dass Schüler*innen nicht ausreichend aus ihren Fehlern lernen können (Oser et al., 1999).

Die Anwendung dieser Methode wird durch die Kenntnis von möglichen Fehlertypen (auch Fehlermuster genannt) unterstützt. Hinter den Fehlertypen kann sich eine Reihe von Fehlerursachen verbergen. Die Fehlerursachen lassen sich, wenn überhaupt, nur ermitteln, wenn man mit den Schüler*innen spricht. Die Fehlertypen beziehen sich auf das Wie (Wie gehen die Schüler*innen falsch vor?), wohingegen sich die Fehlerursachen auf das Warum (Warum gehen sie falsch vor?) beziehen. Folglich sollte bei jedem auftauchenden Fehlertyp im Unterricht nach der Fehlerursache gesucht werden, um konstruktiv aus dem Fehler zu lernen. Jedoch ist anzumerken, dass es für jeden Fehlertyp unterschiedliche Ursachen geben kann (Prediger & Wittmann, 2009). In den meisten Zusammenstellungen von Fehlertypen werden Fehlertypen dargestellt, deren Ursachen sich mehrheitlich auf das Wissen

oder die Kompetenzen der Schüler*innen zurückführen lassen. Nach Türling (2014), der auch die Bedeutung der Auseinandersetzung mit Fehlertypen hervorhebt, gibt es auch Fehlertypen, dessen Ursachen der Lehrperson zuzuschreiben sind. Eine unpassende Unterrichtsgestaltung oder eine unklare Aufgabenstellung können auch dazu führen, dass die Schüler*innen Fehler machen.

Astolfi (2020) schlägt für den Unterricht eine Typologie vor, die die Fehler in ihrer Vielfalt, wie sie im Unterricht vorkommen können, darstellt. Er führt aus, dass die Art der Diagnose das an den Fehler anschließende didaktische Handeln beeinflusst. Er identifiziert die folgenden acht Fehlertypen (linke Spalte) und schlägt dazu entsprechendes didaktisches Handeln vor (rechte Spalte) (Tabelle 2).

Die Typisierung von Astolfi (2020) gibt einen Überblick über Fehlertypen im Unterricht. Dieser Gedanke soll in einer fach- bzw. fachbereichsspezifischen Analyse über Fehlertypen erweitert werden. Neben der Kenntnis, welche Fehlertypen in einem Fach bzw. Fachbereich passieren können, gilt es im Rahmen einer positiven Fehlerkultur und eines konstruktiven Umgangs mit Fehlern zudem, die Besonderheiten der unterschiedlichen Fächer und Fachbereiche zu berücksichtigen (Türling, 2014). Nach Prediger und Wittmann (2009, S. 4) lassen sich Fehlertypen (auch Fehlermuster genannt) identifizieren, „wenn bestimmte Fehlerphänomene über die Befragten hinweg gehäuft auftreten [...], oder wenn hinter den (individuellen oder interindividuellen) Fehlerphänomenen eine gewisse innere Logik zu erkennen ist (wenn also bei strukturell gleichen Aufgaben auch strukturell gleiche Fehlerphänomene auftreten)“. Als Fehlerphänomene bezeichnen Prediger und Wittmann (2009) unmittelbar zugängliche und sichtbare (verbale oder schriftliche) Ergebnisse von Wahrnehmungs- und Denkprozessen, welche beispielsweise im Unterrichtskontext stattfinden können.

In den nachfolgenden Kapiteln 2.7.1, 2.7.2, 2.7.3 und 2.7.4 wird zuerst auf die unterschiedlichen Besonderheiten der MINT-Fächer eingegangen. Anschließend wird ein Überblick über aktuelle Studien in Bezug auf das Thema Fehler gegeben. Abschließend werden unterschiedliche fachspezifische Fehlertypen und mögliche Ursachen dargestellt.

Tabelle 2: Fehlertypen im Unterricht (Astolfi, 2020, S. 126–127)

Art der Diagnose	Didaktisches Handeln
1. Fehler beim Verfassen und Verstehen von Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse der Verständlichkeit von Schultexten – Arbeit am Verständnis, der Auswahl und der Formulierung von Anweisungen
2. Fehler, die aus schulischen Gewohnheiten oder einer falschen Entschlüsselung von Erwartungen resultieren 3. Fehler, die von alternativen Konzepten der Schüler*innen zeugen	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse der geltenden didaktischen Normen und Praktiken – Kritische Arbeit an den Erwartungen – Analyse der Vorstellungen und Hindernisse, die dem Konzept zugrunde liegen – Wahrnehmung der Identitätsbildung der Schüler*innen und der wissenschaftlichen Debatte in der Klasse
4. Fehler im Zusammenhang mit dem konzeptionellen Denken	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse der Unterschiede zwischen Übungen, die ähnlich aussehen, aber unterschiedliche logisch-mathematische Kompetenzen erfordern – Strengere Auswahl der Aktivitäten und Fehleranalyse in diesem Rahmen
5. Fehler, die sich auf die gewählte Vorgehensweise beziehen	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse der Vielfalt der „spontanen“ Ansätze im Gegensatz zu der erwarteten Vorgehensweise – Arbeit mit verschiedenen Vorgehensweisen, die vorgeschlagen werden, um individuelle Entwicklungen zu fördern
6. Fehler aufgrund kognitiver Überlastung während der Aktivität	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse der mentalen Belastung durch die Tätigkeit – Zerlegung in Unteraufgaben mit erfassbarem kognitivem Umfang
7. Fehler, die in einer anderen Disziplin entstanden sind	<ul style="list-style-type: none"> – Analyse gemeinsamer Strukturmerkmale und differentieller Oberflächenmerkmale in den beiden Disziplinen – Arbeit an der Suche nach gemeinsamen Elementen zwischen den Situationen
8. Fehler, die durch die Komplexität des Inhalts verursacht werden	<ul style="list-style-type: none"> – Didaktische Analyse der begriffsbezogenen Komplexität

2.7 Fehler im MINT-Unterricht

2.7.1 Fehler und Fehlertypen im Fach Mathematik

Im herkömmlichen Mathematikunterricht gibt es viele Aufgaben, bei denen es vorrangig darum geht, richtig zu rechnen. Diese Aufgaben fragen ein Verfahren ab und lassen bei der Bewertung nur die Werte richtig oder falsch zu (Herget, 2012; Leuders, 2012). Jedoch ist ein kritisch-konstruktiver Umgang mit Fehlern ein wichtiges Ziel für den Mathematikunterricht (z. B. Herget, 2012; Loibl & Leuders, 2019; Loibl & Rummel, 2014). Leuders (2012) schlägt beispielsweise vor, Aufgaben zu formulieren, die das Verstehen abfragen, um einen kritisch-konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. Dabei können nach Herget (2012) beispielsweise falsche Lösungen bzw. Lösungswege dazu genutzt werden, Fehler zu finden und begründet richtigzustellen. Wichtig ist hierbei, dass die Schüler*innen die Aufgabe nicht einfach selbst nochmals rechnen und die richtige Lösung notieren, sondern dass sie die einzelnen Schritte analysieren und diskutieren. Beim kritisch-konstruktiven Umgang mit Fehlern im Mathematikunterricht stehen nach Herget (2012) folglich das Argumentieren und Kommunizieren im Zentrum. Es gibt jedoch noch viele weitere Möglichkeiten, einen kritisch-konstruktiven Umgang mit Fehlern im Mathematikunterricht zu fördern, wozu in der Mathematikdidaktik bereits umfassend geforscht wurde. So gibt es beispielsweise diverse Beiträge zu Fehleranalysen von typischen Fehlern in unterschiedlichen Bereichen, etwa bei der Addition und Subtraktion von Brüchen (z. B. Eichelmann, Narciss, Schnaubert & Melis, 2012) oder beim Kopfrechnen, beim halbschriftlichen Rechnen oder beim schriftlichen Rechnen (z. B. Götze, Selter & Zannetin, 2019). Es gibt aber auch Studien zu Reaktionen von Schüler*innen auf Fehler (z. B. Dresel et al., 2013) oder Gefühlszuständen von Schüler*innen beim Fehlermachen während mathematischer Aktivitäten (z. B. Tulis & Ainley, 2011). Außerdem gibt es Studien zu verschiedenen Ansätzen zum Umgang mit Fehlern in der Mathematik, wie beispielsweise zum Productive Failure-Ansatz von Manu Kapur (z. B. Kapur, 2015; Toh & Kapur, 2017). Beim Productive Failure-Ansatz werden Aufgaben be-

wusst vor einer Instruktion gestellt. Daraus folgt, dass die Schüler*innen die Aufgaben nicht lösen können und Fehler machen. Dabei sollen die Schüler*innen merken, dass ihnen zum Lösen der Aufgaben ein Teil des Wissens fehlt. Das fehlende Wissen wird in der nachgestellten Instruktion vermittelt. Darüber hinaus werden fachliche Inhalte vertieft und die Fehler der Schüler*innen berücksichtigt. So sollen die Schüler*innen das neu vermittelte Wissen in ihre bestehenden Wissensstrukturen einordnen können (z. B. Kapur, 2015; Toh & Kapur, 2017). Der Productive Failure-Ansatz wurde neben Kapur und seinem Team beispielsweise auch von Loibl und Rummel (2014) und Loibl und Leuders (2018, 2019) weiter beforscht. Sie untersuchten unter anderem, was und wie man Scheitern produktiv macht.

Zudem gibt es Studien zum Umgang mit Fehlern in Unterrichtsgesprächen (z. B. Heinze, 2004; Kuntze, 2009) und zum Einfluss von Lehrpersonenmerkmalen auf den Umgang mit Fehlern im Mathematikunterricht (z. B. Bray, 2011).

2.7.1.1 Fehlertypen

Fehler in der Mathematik sind schwierig in Fehlertypen zu klassifizieren. Eine Einteilung mathematischer Fehler in Fehlertypen wurde im Jahr 1992 von Jost, Erni & Schmassmann vorgenommen. Sie unterscheiden Schnittstellenfehler, Verständnisfehler bei Begriffen und bei Operationen, Automatisierungsfehler und Umsetzungsfehler. Schnittstellenfehler „betreffen die Aufnahme, Wiedergabe und Notation von Symbolen. Sie entstehen an den jeweiligen Schnittstellen zwischen Sehen – innerlichem Sehen – Hören – innerlichem Hören – Lesen – innerlichem Lesen – Schreiben – Sprechen – innerlichem Sprechen“ (Jost et al., 1992, S. 37). Als Ursachen der Schnittstellenfehler zählen unter anderem visuelle oder auditive Wahrnehmungsschwächen (Verwechslung der Zahlen 6 und 9 oder 4 und 7), mangelndes Sprachverständnis oder Schwierigkeiten mit Abläufen und Reihenfolgen (Vertauschen von Zehnern und Einern) (Jost et al., 1992). Die Schnittstellenfehler müssen nicht mathematikspezifisch sein, sondern können sich auch in Deutsch, beispielsweise

bei Legastheniker*innen, zeigen. Des Weiteren ist auch die Ursache für einen Schnittstellenfehler nicht mathematikbezogen, sondern verweist auf eine Beeinträchtigung. Verständnisfehler bei Begriffen und bei Operationen „beziehen sich auf das Erkennen von Zusammenhängen, das Verbinden von Handlungen, Bildern und Symbolen, das Wissen um die Bedeutung eines Symbols je nach Kontext“ (Jost et al., 1992, S. 37). Ursachen dafür sind beispielsweise Wahrnehmungsschwächen, ein mangelndes Symbolverständnis, Probleme mit zeitlichen Abläufen oder Schwierigkeiten bei Verallgemeinerungen. Automatisierungsfehler passieren beim Verknüpfen von Symbolen (Symbolassoziation). „Trotz vorhandenem Verständnis von Begriffen und Operationen sowie dem richtigen Umgang mit Symbolen an den Schnittstellen können Ergebnisse oder Abläufe nicht automatisiert werden“ (Jost et al., 1992, S. 38). Ursachen dafür können Probleme bei der Speicherung, Umstellung sowie der Konzentration sein. Umsetzungsfehler „sind Fehler, die beim Umsetzen der erarbeiteten Begriffe, Operationen oder Techniken in neue, komplexe Lern- oder Lebenssituationen entstehen“ (Jost et al., 1992, S. 39). Auch hier können die Ursachen unterschiedlich sein und von mangelnder Wahrnehmungsfähigkeit, Flexibilität oder Schwierigkeiten beim Sprachverständnis bis zu verminderten Abstraktions- oder Transferfähigkeiten reichen (Jost et al., 1992).

Neuere Studien gehen nicht auf die Fehlertypen von Jost et al. (1992) ein, sondern benennen oft einzelne themenspezifische Fehler als Fehlertypen (z. B. Eichelmann et al., 2012; Selter, Prediger, Nührenbörger & Hußmann, 2014). Bei der Addition und Subtraktion von Brüchen werden beispielweise Zähler nicht addiert ($9\frac{4}{7} = \frac{63}{7}$), kleinste Nenner nehmen ($\frac{3}{8} + \frac{4}{7} = \frac{3+4}{7}$) oder nicht vollständig gekürzt ($\frac{12}{6} = \frac{6}{3}$) als Fehlertypen benannt (Eichelmann et al., 2012). Dies führt dazu, dass in jedem mathematischen Bereich sehr viele unterschiedliche Fehlertypen vorkommen können. Bei der Addition und Subtraktion von Brüchen wurden 58 Fehlertypen von Eichelmann et al. (2012) identifiziert.

Im Bereich des halbschriftlichen Rechnens werden von Götze et al. (2019) die Fehlertypen Verständnisfehler, Rechenfehler und Merkfehler unterschieden. Verständnisfehler ergeben sich aus falschen oder fehler-

haften Vorstellungen oder aus undurchdachten Übertragungen von bereits gelernten Rechengesetzen (Götze et al., 2019), z. B.:

$527 + 399 = 928$	„Nach dem Gesetz der Konstanz der Summe muss gegensinnig statt, wie hier, gleichsinnig ($526 + 1$; $399 + 1$) verändert werden“ (Götze et al., 2019, S. 99).
$528 + 400 = 928$	

Rechenfehler ergeben sich meist aufgrund von Konzentrationsschwierigkeiten oder wenn das kleine Einspluseins noch nicht automatisiert ist (Götze et al., 2019), z. B.:

$199 + 198 = 235$	„Hier liegt der Fehler im Stellenwertverständnis (oder einer flüchtigen Notation). Statt 180 wird 18 notiert und verrechnet“ (Götze et al., 2019, S. 100).
$100 + 100 = 200$	
$90 + 90 = 18$	
$9 + 8 = 17$	

Um Merkfehler handelt es sich, wenn z. B. Teile vergessen oder Zwischenlösungen sich falsch gemerkt wurden (Götze et al., 2019), z. B.:

$527 + 399 = 726$	„Die einzelnen Rechnungen sind sämtlich korrekt, statt des Zwischenergebnisses (800) wird jedoch ein anderer Wert (600) verwendet“ (Götze et al., 2019, S. 100).
$500 + 300 = 800$	
$20 + 90 = 110$	
$7 + 9 = 16$	
$600 + 110 + 16 = 726$	

Eine allgemeinere, themenunabhängige Klassifizierung von Fehlern im Mathematikunterricht ist in Studien von Prediger und Wittmann (2009) zu finden. Hier wurden die Fehler in Flüchtigkeitsfehler, systematische Fehler, syntaktische Fehler und semantische Fehler eingeteilt. Diese vier Fehlertypen sind zweistufig zu betrachten. Zudem sind sie nicht immer klar voneinander abzugrenzen. Auf der ersten Stufe befinden sich die Flüchtigkeitsfehler und die systematischen Fehler, welche zunächst unterschieden werden müssen. Zur Unterscheidung dieser beiden Fehlertypen wird das Fehlermuster analysiert. Das Fehlermuster kann einmalig (beispielsweise aufgrund von mangelnder Konzentration oder Überlastung)

oder mehrmalig (aufgrund von falschen stabilen Konzepten) sichtbar werden. Bei einmaligen Fehlern aufgrund von mangelnder Konzentration oder Überlastung spricht man von Flüchtigkeitsfehlern. Diese können die Schüler*innen sofort verbessern, wenn sie darauf hingewiesen werden. Bei mehrmaligen Fehlern aufgrund von falschen stabilen Konzepten spricht man von systematischen Fehlern. Systematische Fehler sind Fehler, die wiederholt werden. Werden Schüler*innen, die immer wieder die gleichen Fehler machen, auf ihre Fehler hingewiesen, verbessern sie diese nicht, sondern begründen die Richtigkeit ihres Vorgehens (Prediger & Wittmann, 2009). Handelt es sich um einen systematischen Fehler, muss die Ursache dafür gefunden werden. Die Ursache kann ein syntaktischer oder semantischer Fehler sein (zweite Stufe). „Syntaktische Fehler sind Fehler, die beim Rechnen nach festen Regeln (etwa in der Arithmetik, in der Bruchrechnung, in der Algebra) auftreten“ (Prediger & Wittmann, 2009, S. 4). Solche Fehler passieren beim falschen Umsetzen der Regeln. Semantische Fehler befinden sich auf der Ebene der Bedeutung der mathematischen Inhalte (Prediger & Wittmann, 2009). „Sie erscheinen insbesondere bei der Verbindung von Sachkontexten und mathematischen Symbolen und Begriffen, etwa beim Aufstellen eines Terms oder beim Interpretieren von Ergebnissen in Bezug auf einen Sachkontext“ (Prediger & Wittmann, 2009, S. 4). Semantische Fehler resultieren oft aus Fehlvorstellungen. Syntaktische und semantische Fehler können nicht immer klar voneinander abgegrenzt werden. Syntaktische Fehler können beispielsweise aufgrund von semantischen Fehlerursachen wie Fehlvorstellungen passieren, welche das Verfahren beeinflusst haben (Prediger & Wittmann, 2009) (Abbildung 6).

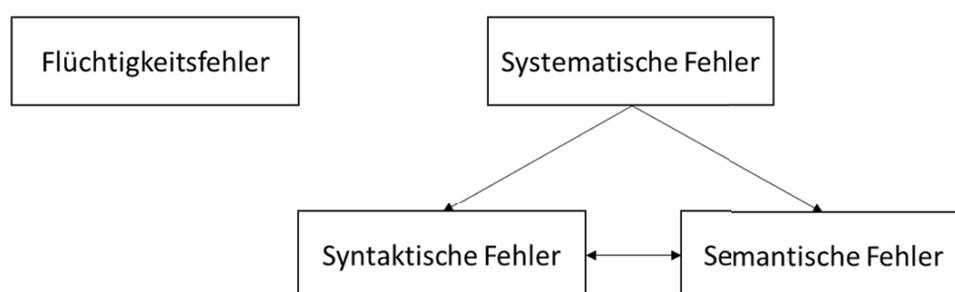


Abbildung 6: Fehlertypen Mathematik nach Prediger & Wittmann (2009)

2.7.2 Fehler und Fehlertypen im Fach Medien und Informatik mit Fokus aufs Programmieren

Der schweizerische Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 485) enthält „die Kompetenzbereiche Medien und Informatik sowie die Kompetenzen zur Anwendung der Informations- und Kommunikationstechnologien, die als Anwendungskompetenzen bezeichnet werden“. Die Anwendungskompetenzen werden in der gesamten Volksschule fächerübergreifend unterrichtet. Es gibt dafür aber keinen eigenen Kompetenzaufbau. Es werden lediglich in den unterschiedlichen Fachbereichen Hinweise gegeben, wie die Anwendungskompetenzen unterrichtet werden können. Der Kompetenzbereich Medien und Informatik ist in die Bereiche Medien und Informatik unterteilt. Die unter beiden Bereichen aufgeführten Kompetenzen werden im Fach Medien und Informatik unterrichtet. Der Bereich Medien enthält Kompetenzen zu Medienbildung und Mediennutzung (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017). Dieser Bereich soll nicht Gegenstand dieses Kapitels sein. Im Bereich Informatik geht es um die Automatisierung von Informationsverarbeitung, wobei die erste Kompetenz fordert, „Daten aus der Umwelt darzustellen und zu strukturieren, die zweite Kompetenz verlangt, einfache Problemstellungen zu analysieren, mögliche Lösungsverfahren zu beschreiben und in Programmen umzusetzen“, und die dritte Kompetenz zum Ziel hat, „den Aufbau und die Funktionsweise von informationsverarbeitenden Systemen zu verstehen und Konzepte der sicheren Datenverarbeitung anzuwenden“ (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 511–513). Die zweite Kompetenz aus dem Bereich Informatik bezieht sich unter anderem auf das Programmieren. Das Programmieren ist Fokus in diesem Kapitel und in dieser Dissertation, denn gerade beim Programmieren machen Schüler*innen unweigerlich viele Fehler.

Fehler beim Programmieren entstehen, da die Schüler*innen einerseits in einer neuen, ihnen unbekanntem Sprache kommunizieren müssen. Andererseits besitzen die technischen Geräte, mit denen im Unterricht kommuniziert wird (z. B. Einplatinencomputer wie der *Cal-*

liope oder der *micro:bit*), (noch) keine Fähigkeiten, das Mitgeteilte zu interpretieren, mitzudenken oder nachzufragen. Das bedeutet, dass die Kommunikation genau und fehlerfrei sein muss. Kleinste Fehler wie beispielsweise die Verwendung eines Kommas statt eines Punktes bei der textbasierten Programmierung führen dazu, dass das technische Gerät die Anweisung nicht versteht und daher nicht weiß, was es zu tun hat (Schmid et al., 2022).

Um den Einstieg ins Programmieren zu erleichtern, wird häufig mit einer visuellen Programmiersprache (z. B. einer Blocksprache wie *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* oder *Scratch*) programmiert. Durch die visuelle Programmierung werden typische, aber nicht lösungsrelevante Fehlerquellen der Programmierung, wie die korrekte Verwendung der Syntax oder die effektive Variablenverwaltung, zunächst beseitigt. Dies erleichtert den Schüler*innen die Konzentration auf die Problemlösung und ermöglicht erstmals auch bei komplexeren Programmen eine effektive Intervention durch die Lehrpersonen, da Abhängigkeiten und die korrekte Befolgung von Programmierregeln durch die Farbcodierung der einzelnen Blöcke viel schneller zugänglich sind (Hielscher & Honnegger, 2015; Kelleher & Pausch, 2005). Zdawczyk und Varma (2022) konnten beim Vergleich der visuellen Programmiersprache *Scratch* mit der textbasierten Programmiersprache *Python* aufzeigen, dass vor allem Mädchen mehr Interesse am Programmieren zeigten, wenn diese mit der visuellen Programmiersprache *Scratch* programmieren konnten. In Bezug auf die Selbstwirksamkeitserwartung konnten sie darlegen, dass diese sowohl bei den Mädchen als auch bei den Jungen höher war, wenn diese mit der visuellen Programmiersprache *Scratch* programmierten. Aus diesen Ergebnissen leiten Zdawczyk und Varma (2022) ab, dass man bei der Verwendung der visuellen Programmiersprache mehr Mädchen für Informatik gewinnen könnte.

Lektionen zum Programmieren mit einer textbasierten oder visuellen Programmiersprache bieten im Vergleich mit Mathematik- oder Lektionen im Integrationsfach Natur und Technik drei zentrale Besonderheiten. Die erste Besonderheit ist, dass die Fehler bzw. die Konsequenzen des Fehlers meist sofort sichtbar werden und die Schüler*in-

nen ihre Lösungen daher nicht erst mit einer Musterlösung vergleichen müssen. Als Beispiel dafür kann eine Programmieraufgabe mit einer LED (Light Emitting Diode) genommen werden. Lautet die Aufgabe, die LED dreimal blinken zu lassen, und die LED blinkt nicht, ist ein Fehler passiert. Die zweite Besonderheit von Programmierlektionen ist, dass die Trial-and-Error-Methode im Vergleich zum naturwissenschaftlich-technischen Unterricht meist ohne Gefahr angewendet werden kann. Bei dieser Methode lernen die Schüler*innen aus Versuch und Irrtum. Die Schüler*innen können einzelne Variablen ohne großen Aufwand bewusst verändern, während sie andere bewusst konstant halten und dabei aus Fehlversuchen lernen. Die Trial-and-Error-Methode sollte im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht mit Bedacht eingesetzt werden. Im Biologieunterricht mit lebenden Organismen, in der Chemie bei der Arbeit mit Gefahrenstoffen und in der Physik bei der Arbeit mit Strom könnte diese Methode verheerende Folgen haben (vgl. Kap. 2.7.3). Die Trial-and-Error-Methode findet man nicht nur in der Schule wieder, sondern auch bei der alltäglichen Arbeit von Programmierer*innen und Entwickler*innen (Perscheid, Siegmund, Taeumel & Hirschfeld, 2017, S. 83–84). Eine dritte Besonderheit bieten Debugging-Aufgaben. Das Debugging leitet sich vom englischen Begriff *bug* für Käfer ab. Oft wird die begriffliche Prägung Grace Hopper zugeschrieben (Wheeler, 2018). „Der Begriff stammt aus einer Zeit, in der sie am Mark II [einem elektromechanischen Computer] arbeitete und dieser plötzlich stehen blieb. Hopper und ihr Team führten das Problem auf eine Motte zurück, die sich in einem der Relais bzw. Schalter des Computers verfangen hatte“ (Wheeler, 2018, S. 58). Sie entfernten die Motte und klebten diese ins Logbuch, in welches unterschiedliche Aktivitäten, Fortschritte, Herausforderungen und Ergebnisse dokumentiert werden. Von da an sagten Hopper und ihr Team, dass sie, sobald der Computer bzw. die Rechenmaschine nicht mehr funktionierte, diese „debuggen“, d.h. von Fehlern befreien würden (Wheeler, 2018). Auch Debugging-Aufgaben eignen sich gut, um Fehler als Lernchance zu sehen. Debugging-Aufgaben im Unterricht präsentieren fehlerhafte Codes, die von den Schüler*innen verbessert werden. Beim Verbessern der Codes können die Schüler*in-

nen auf ihr Wissen zurückgreifen. Reicht das Wissen nicht aus, kann die Trial-and-Error-Methode angewendet werden. Wichtig ist dabei, dass wiederum jeweils nur eine Variable verändert wird und der Effekt dieser Veränderung beobachtet und analysiert wird (Michaeli & Romeike, 2019; Perscheid et al., 2016; Schmid et al., 2022). Der Vorteil von Debugging-Aufgaben ist, dass die Schüler*innen nicht an ihren eigenen Fehlern, sondern an Fehlern von anderen arbeiten, denn nach Schuhmacher (2008) kann es für Schüler*innen, vor allem für solche, die viele Fehler machen, unter Umständen demotivierend sein, mit eigenen Fehlern zu arbeiten. Folglich kann durch den Einsatz von Debugging-Aufgaben diesem Problem entgegengewirkt werden.

Neben Literatur zu Methoden (Trial-and-Error-Methode) und Aufgabentypen (Debugging-Aufgaben) gibt es auch einige Studien zum Fehlermachen beim Programmieren. Diese fokussieren unterschiedliche Aspekte (wie beispielsweise typische Fehler bei einer Programmiersprache wie *Java* oder das fehlerbezogene Verhalten der Schüler*innen), beziehen sich aber auf das textbasierte Programmieren (z. B. Qian & Lehman, 2019). In Bezug auf das visuelle Programmieren wurden lediglich unterschiedliche Beiträge zu Fehlkonzepthen, beispielsweise zu den Schleifen, eine Kontrollstruktur, um einen Codeblock wiederholt auszuführen, solange eine bestimmte Bedingung erfüllt ist (Mladenović, Boljat & Žanko, 2018) und ein Literaturreview zu Fehlkonzepthen, welche bei der Einführung in die Programmieren vorherrschen können (Qian & Lehman, 2017), gefunden. Das Literaturreview berücksichtigt Fehlkonzepthe, die sowohl beim textbasierten als auch beim visuellen Programmieren vorherrschen können. Zudem wurde eine Präpublikation zu vorherrschenden Fehlkonzepthen von Primarschüler*innen der 5. und 6. Klasse sowie der Entwicklung von Fehlerkonzepthen gefunden (Hartmann et al., 2022).

2.7.2.1 Fehlertypen

Wie in der Mathematik sind auch in der Informatik bzw. beim Programmieren unterschiedliche Typisierungen von Fehlern zu finden. Gewisse Typisierungen beziehen sich eher auf das Programmieren mit

einer textbasierten Programmiersprache, andere beziehen sich eher auf das Programmieren mit einer visuellen Programmiersprache. Im Rahmen der textbasierten Programmierung unterscheidet beispielsweise Downey (2012) die drei Fehlertypen Syntaxfehler, semantische Fehler und Laufzeitfehler (Run Time Error). Auch Beege et al. (2021) verweisen beim textbasierten Programmieren auf diese drei Fehlertypen von Downey (2012). Syntaxfehler betreffen die Codestruktur (Downey, 2012) und können mit grammatikalischen Fehlern verglichen werden (Dörn, 2019). So zählen zu den Syntaxfehlern beispielsweise falsche oder fehlende Zeichen (Aho, Sethi & Ullman, 1999). Semantische Fehler beziehen sich auf die Logik oder den Inhalt des Codes (Downey, 2012). Zu den semantischen Fehlern gehören beispielsweise die falsche Deklaration von Variablen oder eine falsche Reihenfolge der Parameter. Als Laufzeitfehler werden Fehler bezeichnet, die auftreten, während das Programm läuft. So zählt beispielsweise ein Absturz des Programms zu einem Laufzeitfehler (Beege et al., 2021).

Viele Syntaxfehler werden, wie oben beschrieben, durch die visuelle Programmierung zunächst beseitigt. Syntaxfehler könnten nur bei Blöcken passieren, in welche etwas eingegeben werden muss. So könnten nach der Typisierung von Downey (2012) hauptsächlich die semantischen Fehler und die Laufzeitfehler auf die visuelle Programmierung übertragen werden.

In der visuellen Programmierung werden oft, wie auch in der Mathematik, einzelne themenspezifische Fehler als Fehlertypen benannt. Bei der Arbeit mit der visuellen Programmiersprache Scratch kann eine Lehrperson Fehler beispielsweise, wie in der Litterbox⁶ von Scratch vorgegeben, nach Codemustern typisieren. Dabei werden beispielsweise die Fehlertypen fehlende Initialisierung, fehlende Abbruchbedingungen oder ungültiger Vergleich aufgelistet (Universität Passau, o. J.). Eine Lehrperson könnte bei der Arbeit mit Scratch Fehler aber auch nach der Debugging-Checkliste⁷ typisieren. Dabei werden beispielsweise die

⁶ <https://scratch.fim.uni-passau.de/litterbox/pattern.php> (29.11.2023)

⁷ <https://www.zebis.ch/unterrichtsmaterial/debugging-checkliste-fuer-das-arbeiten-mit-scratch-30> (29.11.2023)

Fehlertypen vergessene Blöcke (visuelles Element von Befehlen oder Operationen), falsche Zahlen oder falsche Reihenfolge unterschieden (Frischherz, 2019).

Wie bei der Mathematik ist auch bei dieser Typisierung in themenspezifische Fehler die Schwierigkeit, alle möglichen Fehlertypen zu kennen. Zudem können die Fehlerursachen vielfältig sein. Diese können von einfachen Flüchtigkeitsfehlern bis hin zu Denkfehlern reichen.

2.7.3 Fehler und Fehlertypen im Integrationsfach Natur und Technik

Wie im Kapitel 2.5.1 beschrieben, vereint das Integrationsfach Natur und Technik in der Schweiz die Fächer Biologie, Chemie und Physik. Jedoch werden diese Fächer meist einzeln und die Technik integriert in diesen Fächern unterrichtet.

Eine Besonderheit des Integrationsfachs Natur und Technik ist, dass im Gegensatz zum Mathematikunterricht auch Fehler passieren können, „die unbedingt vermieden werden müssen, weil sie irreversible Schäden nach sich ziehen“ (Althof, 1999, S. 8), oder Schüler*innen durch ihre Fehler andere gefährden können. Im Biologieunterricht sollten Fehler beispielsweise bei der Arbeit mit lebenden Organismen vermieden werden, da diese im schlimmsten Fall sterben könnten. Im Chemieunterricht sollten keine Fehler beim Umgang mit Gefahrenstoffen (Chemikalien) gemacht werden, da diese irreversible Schäden verursachen könnten. Zudem gibt es auch im Physikunterricht Bereiche, bei denen Fehler schlimme Auswirkungen auf die Gesundheit haben könnten, beispielsweise beim unbedachten Experimentieren in der Elektrizitätslehre. Vorsicht ist außerdem bei der Arbeit mit technischen Geräten geboten, z. B. wenn es am Strom angeschlossen ist. Wurden mögliche gefährliche Situationen identifiziert und Sicherheitsvorkehrungen getroffen, sollte dennoch ein positiver Umgang mit Fehlern gelebt werden.

Studien zum Umgang mit Fehlern im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht sind rar. Im Biologieunterricht gibt es Studien zu Fehlern beim Experimentieren (Baur, 2021) oder eine Studie zum

Umgang mit Schüler*innenfehlern in Diskussionen mit der Klasse (Kotzebue, Förtsch, Förtsch & Neuhaus, 2021). Für den Physikunterricht gibt es unterschiedliche Beiträge im Themenheft Fehlerkultur in der Zeitschrift *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* vom Jahr 2020. Darin finden sich neben allgemeinen theoretischen Beiträgen zum Umgang mit Fehlern und zur Fehlerkultur im Unterricht (z. B. Heinicke & Holz, 2020) Beiträge zu Fehlern in Experimenten (z. B. Kraus, 2020b) und damit einhergehend Beiträge zum Umgang mit unsicheren Daten (z. B. Welberg, Holz & Heinicke, 2020) und zum Umgang mit Messfehlern (Hellwig & Heinicke, 2020; Holz & Heinicke, 2020). Zusätzlich gibt es Beiträge zu mathematischen Fehlern bei mathematischen Aufgaben (z. B. Rühling, 2020). Der Productive Failure-Ansatz wird vorgestellt (Hiniborch, Wille & Friege, 2020) und Unterrichtsideen zum Umgang mit Fehlern beim Schätzen werden präsentiert (Stinken-Rösner, 2020). Außerdem werden Fehler in Prüfungen thematisiert (Hepp, 2020) und Unterrichtsbeispiele für das Lernen an fehlerhaftem Material werden gegeben (Kraus, 2020a). Studien rund um das Thema Fehler im Chemieunterricht wurden keine gefunden. Was hingegen in Bezug auf den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht oft untersucht wurde, sind Schüler*innenvorstellungen, die teilweise auch als Fehlvorstellungen bezeichnet werden (z. B. Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018).

Zudem wurden Fehler bzw. das Scheitern (failure), in Maker-Umgebungen, Lernräumen, in denen Making-Aktivitäten betrieben werden können, untersucht. Simpson, Anderson, Maltese und Goeke (2018) befragten Schüler*innen in diesem Rahmen „zu ihren Erfahrungen mit Scheitern und ihren Gedanken zu diesem Begriff“. Außerdem befragten Maltese, Simpson und Anderson (2018) Pädagog*innen, welche in diesen Maker-Umgebungen arbeiten, wie sie das Scheitern von Schüler*innen in ihren formellen und informellen Lernsettings sehen und wie sie darauf reagieren. Zudem untersuchten Simpson, Anderson und Maltese (2019) Bedingungen, die notwendig sind, damit das Scheitern zu positiven Ergebnissen führt.

2.7.3.1 Fehlertypen

Wie im Kapitel 2.4 dargestellt, wurde eine Einteilung von Fehlern in den Naturwissenschaften von Allchin (2001) beschrieben, welcher Materialfehler, Beobachtungsfehler, konzeptionelle und diskursive Fehler unterscheidet (Abbildung 2). Auch mögliche Fehlerursachen wurden bereits im Kapitel 2.4 dargestellt. Diese Fehlertypen können auf den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht übertragen werden, denn alle vier Fehlertypen kommen sowohl im Biologie-, Chemie- und Physikunterricht sowie in der Disziplin Technik vor.

Materialfehler und Beobachtungsfehler können im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht vordergründig bei der Durchführung von Versuchen und Experimenten passieren, wenn beispielsweise unsachgemäße Materialien verwendet werden oder die Ergebnisse falsch beobachtet werden. Zu konzeptionellen Fehlern kann es in allen Unterrichtsaktivitäten kommen, denn Denkfehler oder theoriebasierte kognitive Verzerrungen können zum Beispiel sowohl beim Experimentieren als auch beim Lösen einer Aufgabe auf dem Arbeitsblatt auftreten. Diskursive Fehler könnten im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht bei der Präsentation von Versuchsergebnissen in der Klasse passieren (Allchin, 2012).

2.7.4 Fazit zu Fehlern und Fehlertypen in MINT-Fächern

Obwohl Schüler*innen in allen MINT-Fächern Fehler machen, haben alle Fächer und Fachbereiche Besonderheiten, die es im Rahmen einer positiven Fehlerkultur und eines konstruktiven Umgangs mit Fehlern zu berücksichtigen gilt. So sollten im Mathematikunterricht nicht nur Aufgaben gestellt werden, die ein Verfahren abfragen, da diese lediglich die Werte richtig oder falsch zulassen. Dies erschwert es den Schüler*innen, einen kritisch-konstruktiven Umgang mit Fehlern im Mathematikunterricht erlernen zu können (Herget, 2012; Leuders, 2012). Im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht muss darauf geachtet werden, dass Fehler vermieden werden, die irreversible Schäden nach sich ziehen (Althof, 1999). Sind gefährliche Situationen identifiziert und Sicherheitsvorkehrungen getroffen worden, bietet aber auch der naturwissenschaftlich-tech-

nische Unterricht gute Möglichkeiten, eine positive Fehlerkultur zu leben. Wie anhand der Besonderheiten von Programmierlektionen aufgezeigt wurde, bieten digital -basierte Lernprozesse geeignete Rahmenbedingungen, eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. Einerseits machen die Schüler*innen in diesen Lernsettings viele Fehler. Die Fehler bzw. die Konsequenzen der Fehler werden aber sofort sichtbar, wodurch sie ihre Lösung nicht erst mit einer Musterlösung vergleichen müssen. Andererseits können sie eine bedeutende Methode der Erkenntnisgewinnung, die Trial-and-Error-Methode, meist ohne Gefahr anwenden. Außerdem können sie mit Debugging-Aufgaben aus den Fehlern von anderen lernen, was oft motivierend für Schüler*innen ist, die viele Fehler machen (Michaeli & Romeike, 2019; Perscheid et al., 2016; Schmid et al., 2022; Schumacher, 2008).

Die beispielhaft dargestellten Typisierungen von Fehlern zeigen auf, dass es in den jeweiligen MINT-Fächern unterschiedliche Möglichkeiten gibt, Fehler in Fehlertypen einzuteilen. Diese Typisierungen von Fehlern scheinen eine gute Hilfe für Lehrpersonen zu sein, Fehlertypen zu erkennen, um Fehlerursachen zu identifizieren, damit Fehler produktiv als Lernchance genutzt werden können. Für Schüler*innen erscheinen gewisse Typisierungen, die oben dargestellt sind, als eher schwierig. Bei der Typisierung der Fehler im Mathematikunterricht von Prediger und Wittmann (2009) können sich Schüler*innen der Sekundarstufe I beispielsweise eher wenig darunter vorstellen, was syntaktisch oder semantisch heißt. Dies ist analog bei der Typisierung beim textbasierten Programmieren von Downey (2012) anzunehmen. Obwohl angenommen wird, dass es für Schüler*innen am einfachsten wäre, Fehlertypen zu erkennen und Fehlerursachen zu identifizieren, wenn einzelne themenspezifische Fehler als Fehlertypen benannt werden, wie dies von Eichelmann et al. (2012) am Beispiel der Addition und Subtraktion von Brüchen oder von der Universität Passau (o.J.) am Beispiel der visuellen Programmiersprache Scratch gemacht wurde, scheint diese Art von Typisierung als eher umständlich, denn schwierig bei dieser Typisierung ist, dass es in allen Themen viele und unterschiedliche Fehlertypen gibt, welche die Schüler*innen einerseits ken-

nen und andererseits auch in Erinnerung behalten müssten. So stellt sich an dieser Stelle die Frage, inwiefern es sinnvoll ist, Fehlertypen mit Schüler*innen zu besprechen. Ein Grund, weshalb eine Thematisierung als sinnvoll angesehen werden kann, ergibt sich aus der Tatsache, dass anhand von Fehlertypen auf mögliche Ursachen geschlossen werden kann (z. B. Prediger & Wittmann, 2009; Türling, 2014).

Von der Lehrperson ist trotz allem zu beachten, welche Typisierung im Unterrichtskontext passend ist und inwiefern eine Typisierung allenfalls angepasst werden müsste. Die Typisierung von Allchin (2001) scheint sinnvoll zu sein, wenn im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht nach dem Experimentierprozess (Abbildung 5) gearbeitet wird. Wenn aber ein Inhalt rein theoretisch aufgearbeitet wird, sollten die konzeptionellen Fehler weiter analysiert werden.

Zudem sollte sich die Lehrperson bewusst sein, dass die fachspezifischen Fehlertypen nicht immer nur im jeweiligen MINT-Fach vorkommen können, sondern auch in den anderen MINT-Fächern. So können mathematische Fehler beispielsweise auch im Informatikunterricht oder im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht passieren. Mathematische Fehler beim visuellen Programmieren sind beispielsweise, wenn in einer Pausen-Schleife die Zeit falsch umgerechnet wurde. Im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht können mathematische Fehler analog zum Programmieren vorkommen, wenn Mengenangaben falsch umgerechnet oder wenn Mischverhältnisse falsch berechnet wurden.

2.8 Nature of Science und Umgang mit Fehlern im MINT-Unterricht

Bereits im letzten Jahrhundert wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Rolle von Fehlern in den Naturwissenschaften zu thematisieren sowie deren Bedeutung zu vermitteln (z. B. Bassow, 1991; Nash, 1951). Allchin (2004) führt aus, dass zu einem adäquaten Verständnis von NOS das Wissen dazugehört, wie sich die Naturwissenschaftler*innen irren können und wie sie diese Fehler entdecken und beheben. Zudem verweist er darauf, dass Fehler als Bestandteile von NOS zu sehen sind,

und macht einen Vorschlag zur unterrichtlichen Vermittlung von NOS anhand von Fehlern (Allchin, 2011, 2012).

Was zurzeit fehlt, sind empirische Arbeiten rund um Fehler als NOS-Aspekte, sowohl bei den Lehrpersonen als auch bei den Schüler*innen. Im NOS-Bereich wird aktuell beispielweise erneut Kritik an den Konsenslisten des Minimalkonsensansatzes geübt (z. B. Galili, 2022). Galili (2022, S. 374) kritisiert, dass die aktuell bestehenden Konsenslisten dem „Verständnis der Wissenschaften schaden, es behindern und in die Irre führen [können]“. Er schlägt vor, die Variationsbreite jedes einzelnen NOS-Aspekts zu berücksichtigen, da die Verfeinerung der Aspekte das Verständnis bereichern kann (Galili, 2022).

Außerdem wird im Bereich der Vermittlung von NOS weiter geforscht. Voss, Kruse und Kent-Schneider (2022) verglichen in einer Studie beispielsweise Schüler*innenantworten auf konvergente, divergente und evaluative Fragen zu NOS, um den explizit-reflektierenden Ansatz zu optimieren. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass „konvergente Fragen besser geeignet sind, um die Schüler*innen zu einer genauen Vorstellung von NOS zu führen, während divergente und evaluative NOS-Fragen sich besser als Bewertungsfragen eignen“ (Voss et al., 2022, S. 1277).

Des Weiteren wurde erneut zur Schwierigkeit der quantitativen Erfassung des NOS-Verständnisses von Lehrpersonen geforscht. Edgerly, Kruse und Wilcox (2022) testeten den Fragebogen *Students' Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI)* von Liang et al. (2008). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass nur die Hälfte der im Fragebogen vorkommenden NOS-Konstrukte akzeptable Cronbachs Alpha-Werte aufwiesen. Zu diesen zählten die vier NOS-Konstrukte Soziales und Kulturelles, Zusammenarbeit, Kreativität und Vorstellungskraft. Zudem stellten sie Unterschiede im Verständnis von NOS zwischen Pre- und Posttest fest (Edgerly et al., 2022).

Die Ausgaben von *Science & Education* im Oktober und Dezember 2022 setzen sich vor dem Hintergrund aktueller Krisen (COVID-19, Stromknappheit, Krieg in der Ukraine) sowie der damit verbundenen Kritik an der Wissenschaft in zwei Ausgaben intensiv mit dem Vertrauen in die Wissenschaft auseinander (Erduran, 2022a, 2022b).

Die vorliegende Arbeit setzt an der Forschungslücke an, dass es keine empirischen Arbeiten rund um Fehler als NOS-Aspekte gibt, und liefert im Kontext des MINT-Unterrichts erste empirische Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses und zum Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I. Da bisher empirische Arbeiten rund um Fehler als NOS-Aspekte fehlen, auf die man sich stützen könnte, wurde ein Modell hinzugezogen, in welchem die Variablen zum *Verständnis von NOS-Aspekten* sowie die Variablen des *Umgangs mit Fehlern* miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

Aus dem NOS-Bereich wurden die folgenden Aspekte gewählt: wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden, Wissen ist vorläufig, aber beständig, Fehlermachen gehört zum Experimentieren dazu, Subjektivität ist ein häufiges Element in den Wissenschaften und kulturelle Elemente beeinflussen die Wissenschaft. Im Rahmen des Umgangs mit Fehlern wird ein Fokus auf die Fehlerlernorientierung, die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie die Fehlerangst gelegt. Wie im Kapitel 2.6.2 aufgezeigt, sind neben den Emotionen auch die Selbstwirksamkeitserwartung und die Motivation mit dem Umgang mit Fehlern verknüpft. Um diese kognitiven, affektiven und motivationalen Variablen miteinander in Beziehung zu setzen, wurde die Control-Value Theory of Achievement Emotions (CVTAE) von Pekrun (2006) gewählt.

2.8.1 Control-Value Theory of Achievement Emotions

Anhand der CVTAE von Pekrun (2006) (Abbildung 7) lassen sich das *Verständnis von NOS* und die Schüler*innenvariablen zum Umgang mit Fehlern, wie die Fehlerlernorientierung, die Fehlerangst und die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler, miteinander in Beziehung setzen. Außerdem lassen sich die Selbstwirksamkeitserwartung und intrinsische Motivation in diesem Modell verorten.

Das Ziel dieser Arbeit ist es nicht, die CVTAE ganzheitlich zu untersuchen. Das Modell von Pekrun (2006) wird als theoretische Grundlage

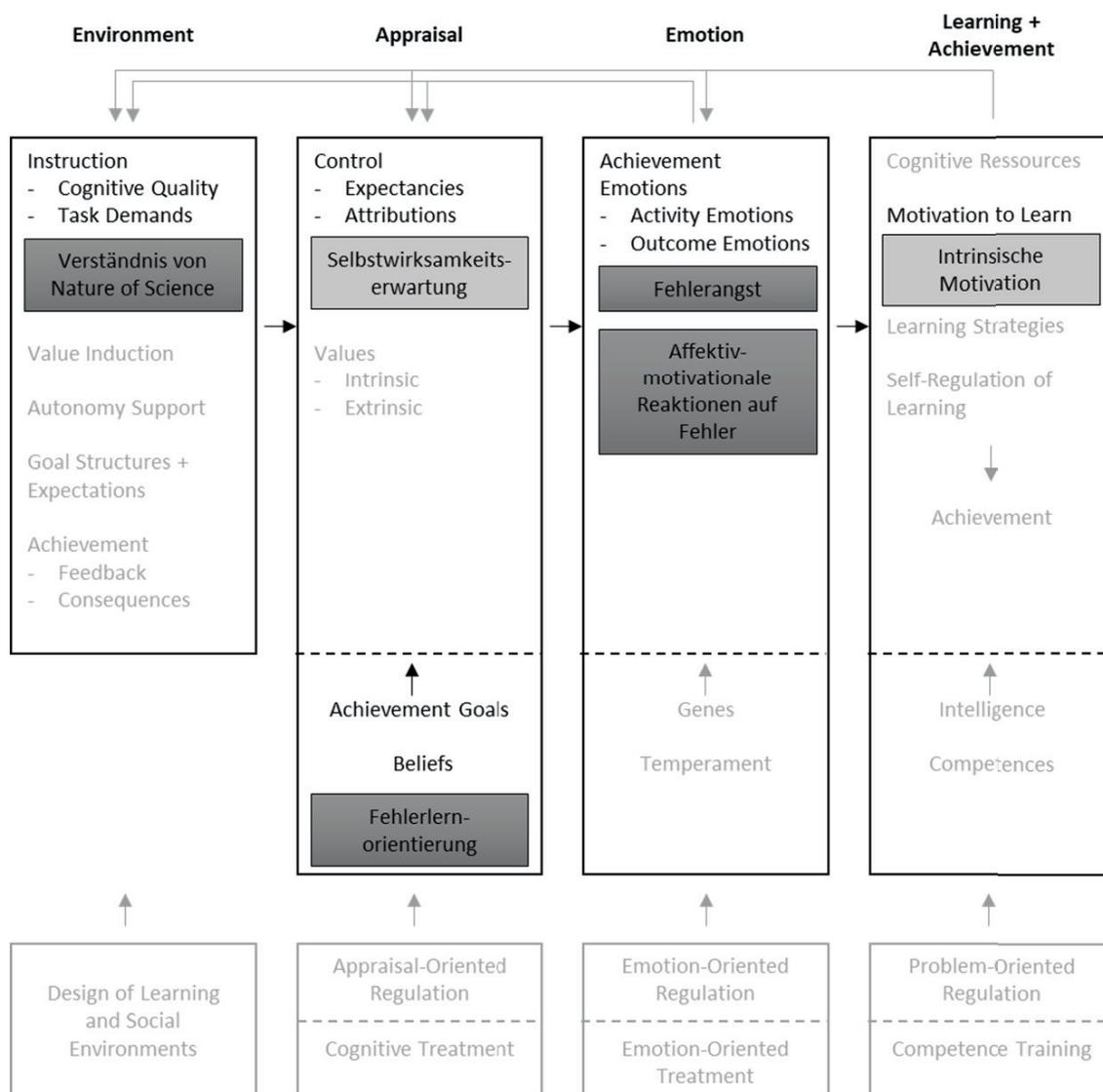


Abbildung 7: Die Control-Value Theory of Achievement Emotions von Pekrun (2006, S. 328). Verortung der Variablen: untersuchte Variablen in dunkelgrauen Kästen und untersuchte Pfade in Schwarz

genommen, um Beziehungen zwischen den Variablen zu postulieren, da es zum Zeitpunkt der Studiendurchführung noch keine empirischen Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen NOS und dem Umgang mit Fehlern im MINT-Unterricht gab. Die CVTAE von Pekrun (2006) (Abbildung 7) beschreibt die emotionalen Prozesse in Lern- und Leistungssituationen und bietet einen Rahmen, um die Einflüsse auf und die Auswirkungen von Emotionen zu analysieren. Die Theorie basiert auf der Annahme, dass Bewertungen von subjektiv wahrgenommener

Kontrolle über die Lern- oder Leistungssituationen (z. B. die Erwartung, dass Ausdauer zu Erfolgen bei Prüfungen führt) und deren Wert bzw. Wichtigkeit (z. B. die Bedeutung, die dem Erfolg zugeschrieben wird) für das Auslösen von Emotionen von zentraler Bedeutung sind. Schreibt ein*e Schüler*in einer Prüfung beispielsweise einen hohen Wert zu und hat er*sie zudem das Gefühl, das Prüfungsergebnis durch Anstrengung beeinflussen zu können, können positive Emotionen wie beispielsweise Spaß beim Lernen entstehen (Pekrun, 2006).

Pekrun (2006) unterscheidet in Bezug auf Emotionen zwischen aktivitätsbezogenen Emotionen, welche beim Lernen erlebt werden (z. B. Spaß, Frustration und Langeweile), und ergebnisbezogenen Emotionen im Zusammenhang mit Erfolg oder Misserfolg (z. B. Freude, Hoffnung, Stolz, Angst, Hoffnungslosigkeit, Scham und Wut). Die Bewertung von Kontrolle und Wert wird von der (Lern)Umgebung beeinflusst. Es wird beispielsweise angenommen, dass eine Verbesserung der kognitiven Qualität des Unterrichts, beispielsweise durch Klarheit und Struktur, sowie kognitiv aktivierende Aufgaben zur wahrgenommenen Kontrolle beitragen. Auch die Unterrichts- und Aufgabenanforderungen sind wichtig für das Leistungsempfinden. Diese bestimmen einerseits den Schwierigkeitsgrad des Lernstoffes, welcher einen Einfluss darauf hat, ob die Schüler*innen diesen Lernstoff bewältigen können. Außerdem beeinflusst dieser die daraus resultierenden Kontrollwahrnehmungen und Emotionen (Pekrun, 2006). Andererseits

„kann die relative Übereinstimmung zwischen Anforderungen und individuellen Fähigkeiten die Bewertung des Lernstoffes durch die Schüler*innen beeinflussen. Wenn die Anforderungen zu hoch oder zu niedrig sind, kann der Wert der Aufgabe so weit reduziert werden, dass Langeweile aufkommt, so die These der Kontrollwerttheorie. Daraus folgt, dass die Abstimmung von Aufgabenanforderungen und Fähigkeiten wahrscheinlich nicht nur wichtig ist, um das kognitive Lernen zu unterstützen, sondern auch, um die aufgabenbezogenen Leistungsgefühle der Schüler*innen zu fördern“ (Pekrun, 2006, S. 334).

Des Weiteren wird aufgrund der CVTAE angenommen, dass neben der (Lern)Umgebung auch Leistungsziele und Überzeugungen einen Einfluss auf die Wahrnehmung von Kontrolle und Wert und folglich auf die Emotionen haben. So wird postuliert, dass leistungsorientierte

Ziele positive Emotionen fördern, während leistungsvermeidende Ziele negative Emotionen hervorrufen (Pekrun, 2006). Neben den Einflüssen auf Emotionen sind auch die Auswirkungen von Emotionen von zentraler Bedeutung. So wird gemäß der CVTAE angenommen, dass die erlebten Emotionen das Lernen, konkret die kognitiven Ressourcen, die Lernmotivation, die Lernstrategien und die Selbstregulierung beim Lernen beeinflussen, was wiederum einen Einfluss auf die Leistung hat (Pekrun, 2006).

2.8.2 Zuordnung der Untersuchungsvariablen zur Control-Value Theory of Achievement Emotions

NOS stellt einen Wissensbereich dar, wobei im Rahmen dieser Arbeit vom Verständnis von NOS gesprochen wird. Das Verständnis von einer Thematik ist nicht in der CVTAE verortet. Um einen Zusammenhang zwischen dem Verständnis von NOS und fehlerbezogenen Emotionen herzustellen, wurden in dieser Arbeit Studien zum Zusammenhang von Verständnis oder Wissen über eine Thematik und Emotionen gesucht. Eine dieser Studien stammt von Li und Monroe (2017) zur *Erforschung der wesentlichen psychologischen Faktoren für die Förderung von Hoffnung bezüglich des Klimawandels*. Li und Monroe (2017) kamen zu dem Ergebnis, dass das Wissen zum Klimawandel einen Einfluss auf die Emotion Hoffnung haben kann. Das Wissen zum Klimawandel wurde in der vorliegenden Arbeit als vergleichbar mit dem Verständnis von NOS angesehen. Da in der Studie von Li und Monroe (2017) das Wissen als Prädiktor der Emotion Hoffnung gesehen wird, wird in dieser Studie analog das Verständnis von NOS als Prädiktor der Emotionen gesehen. Nach der CVTAE sind die (Lern)Umgebung und die Bewertung von Aktivitäten Prädiktoren der Emotionen. Das Verständnis von NOS wurde der (Lern)Umgebung zugeordnet, konkret dem Unterricht. Die Fehlerlernorientierung wurde bei den Leistungszielen und Überzeugungen verortet. Sowohl die Fehlerangst als auch die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wurden bei den Emotionen eingeordnet. Ob es sich dabei um aktivitäts- oder ergebnisbezogene Emotionen handelt,

hängt von der Skala bzw. von der Formulierung der Items ab. Zusätzlich wurde die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen bei der subjektiv erlebten Kontrolle eingeordnet. Da die intrinsische Motivation ein Teil der Lernmotivation ist (vgl. Kap. 2.6.2), wurde diese dem Modell der Lernmotivation zugeordnet.

Aufgrund der Zuordnung der Variablen im Modell der CVTAE wird angenommen, dass das Verständnis von NOS die Fehlerlernorientierung, die Fehlerangst und die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler beeinflusst. Zudem wird angenommen, dass die Fehlerlernorientierung die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen beeinflusst, welche ein Prädiktor der fehlerbezogenen Emotionen ist und welche wiederum die intrinsische Motivation beeinflussen.

3 Forschungsfragen und Hypothesen

Die Analyse der Literatur gibt Hinweise darauf, dass Fehler zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gehören und ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht. Aus diesen Gründen sind Fehler Bestandteile von NOS. In der Folge gehört es zu einem adäquaten Verständnis von NOS zu verstehen, welche Bedeutung und Stellung Fehler in den Naturwissenschaften haben. Die Naturwissenschaftsgeschichte lehrt uns, dass Fehler die Naturwissenschaften vorantreiben können, denn durch das Entdecken und Verbessern von Fehlern kann sich das naturwissenschaftliche Wissen weiterentwickeln. So bieten Fehler die Möglichkeit, aus ihnen zu lernen, wenn diese als Lerngelegenheiten genutzt werden. Nach Kreuzmann et al. (2014) ist der Umgang mit Fehlern entscheidend dafür, ob ein Fehler einen Lernprozess in Gang setzt oder ob er lernhinderlich ist. Im Unterricht ist es relevant, dass sowohl die Lehrperson als auch die Schüler*innen einen positiven Umgang mit Fehlern haben. So sollte der Unterricht von der Lehrperson unter anderem fehlerfreundlich gestaltet werden und die Lehrperson sollte den Schüler*innen die fachlichen Normen bekanntgeben. Schüler*innen sollten Fehler als Lerngelegenheiten ansehen, keine zu große Angst vor Fehlern oder dem Fehlermachen haben (Spychiger et al., 2006), trotz eines Fehlers die Lernfreude und Lernmotivation aufrechterhalten und die negativen Emotionen regulieren können (Dresel et al., 2013). Wie im Kapitel 2.7.4 dargestellt, bieten digital-basierte Lernprozesse geeignete Rahmenbedingungen, um eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. Da es noch keine empirischen Arbeiten zu Fehlern im Bereich NOS gibt, wird verschiedenen Fragen aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses und zum Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I nachgegangen.

3.1 Einfluss des Umgangs mit Fehlern auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren

Die erste Forschungsfrage fokussiert auf den Umgang mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen. Wie im Kapitel 2.7.3 beschrieben, machen Schüler*innen gerade beim Programmieren unweigerlich viele Fehler. Die Fehler können sich auf die intrinsische Motivation auswirken, welcher beim Lernen eine zentrale Bedeutung zukommt (Pekrun, 2006; R. M. Ryan & Deci, 2000). Daher stellt sich die folgende Forschungsfrage:

F1: Inwiefern wirkt sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen der Sekundarstufe I auf deren intrinsische Motivation für das visuelle Programmieren aus?

Da die Fehlerlernorientierung im Modell der CVTAE bei den Leistungszielen und Überzeugungen verortet wurde und damit als Prädiktor der intrinsischen Motivation gesehen wird, wurde die folgende Hypothese angenommen:

H1.1: Die Fehlerlernorientierung hat einen positiven Effekt auf die intrinsische Motivation der Schüler*innen zum visuellen Programmieren.

In Bezug auf das Lernen aus Fehlern spielt auch die Selbstwirksamkeitserwartung eine bedeutende Rolle. Nach Schunk und Usher (2012) können richtig gelöste Aufgaben die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen erhöhen, wohingegen falsch gelöste Aufgaben diese verringern können. Da im Modell der CVTAE auch die Selbstwirksamkeitserwartung verortet werden konnte, welche bei der subjektiv erlebten Kontrolle eingeordnet wurde, wurde die folgende Hypothese formuliert:

H1.2: Die Fehlerlernorientierung in Bezug auf die intrinsische Motivation wird durch die Selbstwirksamkeitserwartung für visuelles Programmieren vermittelt (mediert).

Zudem spielen auch die Emotionen beim Umgang mit Fehlern eine wichtige Rolle (z. B. Dresel et al., 2013; Hascher & Hagenauer, 2010; Pekrun, 2006; Spychiger et al., 2006; Tulis & Ainley, 2011). Die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wurden im Modell der CVTAE bei den Emotionen eingeordnet. Daher wurde die folgende Hypothese abgeleitet:

H1.3: Die Fehlerlernorientierung in Bezug auf die intrinsische Motivation wird durch die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler (fehlerbezogene Emotionen) vermittelt.⁸

Diese erste Forschungsfrage wurde von Schmid et al. (2022) im Artikel *The Influence of Error Learning Orientation on Intrinsic Motivation for Visual Programming in STEM Education* beantwortet. Das methodische Vorgehen wird nur kurz im Kapitel 4 erläutert und die Ergebnisse im Kapitel 6.1.1 zusammengefasst. Die Ergebnisse werden nicht nochmals diskutiert, aber sie werden zu den quantitativen Ergebnissen hinzugezogen, um gemeinsame Schlussfolgerungen zu ziehen und zu Metainferenzen zu kommen.

3.2 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern

Die zweite Forschungsfrage setzt bei der beschriebenen Forschungslücke an, dass es keine empirischen Arbeiten zu Fehlern als NOS-Aspekte gibt. Aufgrund der Zuordnung der Untersuchungsvariablen zum *Verständnis von NOS* und der Variablen zum *Umgang mit Fehlern* in der CVTAE stellt sich die Frage, inwiefern das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS den Umgang mit Fehlern beeinflusst. Das Verständnis der Schüler*innen von NOS kann nicht vollumfänglich er-

⁸ Die Fehlerangst würde aufgrund der Verortung im Modell der CVTAE von Pekrun (2006) neben den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler auch als Mediator vermutet werden. Jedoch wies die Fehlerangst einen zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert auf, wodurch die Skala Fehlerangst aus den Untersuchungen ausgeschlossen wurde (Kap. 5.3.1).

hoben werden. Es ist aber möglich, das Verständnis von einzelnen NOS-Aspekten zu erheben. Daraus leitet sich die folgende Forschungsfrage ab:

F2: Inwiefern beeinflusst das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten den Umgang mit Fehlern?

Der Umgang mit Fehlern wurde mit den Skalen *Fehlerlernorientierung* (F_LO), *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* (F_aff_mot_REA) und *Fehlerangst* (F_An) gemessen. Die Fehlerlernorientierung adressiert inhaltlich den Umgang mit Fehlern im kognitiven Bereich. Die Items repräsentieren einstellungsbezogene (Item 1 und 2), leistungsmotivationale (Item 3 und 4) und reflexive Aspekte (Item 5) der Fehlerlernorientierung (Spychiger et al., 2006). Die Skala *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* bezieht sich inhaltlich, wie der Name der Skala sagt, auf den Umgang mit Fehlern im affektiv-motivationalen Bereich. Die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler adressieren die „Aufrechterhaltung von Lernfreude und Lernmotivation sowie die Regulation negativer Emotionen und damit verbundener motivationsrelevanter Kognitionen (z. B. aufgabenirrelevante Gedanken, Selbstzweifel)“ (Dresel et al., 2013, S. 256). Die Skala *Fehlerangst* umfasst neben der Angst auch die Scham sowie Selbstvorwürfe bzw. Schuldgefühle (Spychiger et al., 2006).

Wie im Kapitel 2.8.2 dargestellt, kann das Verständnis von NOS der (Lern)Umgebung zugeordnet und die Fehlerlernorientierung bei den Leistungszielen und Überzeugungen verortet werden. Die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie die Fehlerangst können bei den Emotionen eingeordnet werden. Die Items für die in dieser Arbeit verwendete Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* beziehen sich auf ergebnisbezogene Emotionen (z. B. *Wenn ich etwas falsch mache, macht mir die Aufgabe trotzdem noch genauso viel Spaß*) (adaptiert von Dresel et al., 2013, S. 260). Auch die Fehlerangst bezieht sich auf ergebnisbezogene Emotionen. Auf Grundlage dieser Verortung in der CVTAE wurden die folgenden Hypothesen postuliert:

H2.1: Das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten hat einen Effekt auf deren Fehlerlernorientierung.

H2.2: Das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten hat einen Effekt auf deren affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler.

H2.3: Das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten hat einen Effekt auf deren Fehlerangst.

Da die Fehlerlernorientierung im Modell der CVTAE bei den Leistungszielen und Überzeugungen verortet werden kann, welche sich zwischen der (Lern)Umgebung und den Emotionen befinden, kann angenommen werden, dass die Fehlerlernorientierung als Mediator zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehlern sowie der Fehlerangst wirkte. Daher wurden zusätzlich die folgenden Hypothesen abgeleitet:

H2.4: Der Effekt des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wird über die Fehlerlernorientierung vermittelt (mediert).

H2.5: Der Effekt des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf die Fehlerangst wird über die Fehlerlernorientierung vermittelt (mediert).

3.3 Wirkung einer Intervention auf den Umgang mit Fehlern

Fehler sind zentrale Bestandteile von Lernprozessen. Doch entscheidend dafür, ob ein Fehler lernhinderlich ist oder ob er einen Lernprozess in Gang setzt, ist der Umgang mit ihm (Kreutzmann et al., 2014). Der Umgang der Schüler*innen mit Fehlern wird stark von der Schule geprägt (z. B. Spychiger et al., 2006). In diesem Zusammenhang wird hier angenommen, dass sich sowohl die Fehlerlernorientierung als auch die

affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler und die Fehlerangst im Laufe der Schulzeit gebildet und geprägt haben und als eher stabile Persönlichkeitsmerkmale zu betrachten sind. Daher wird vermutet, dass sich diese als Folge einer Situation verändern und nicht in der Situation. So wurde angenommen, dass sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen beispielsweise als Folge einer Situation, in welcher aus Fehlern gelernt werden kann, positiv verändern kann. Analog wurde angenommen, dass sich die stabilen affektiv-motivationalen Reaktionen als Folgen einer Situation, in welcher die situative Lernfreude und motivation nach einem Fehler aufrechterhalten und negative Emotionen reguliert werden konnten, zu stabileren, positiveren affektiv-motivationalen Reaktionen entwickeln können. Auch bei der Fehlerangst wurde angenommen, dass sich diese als Folgen einer Situation, in welcher keine Fehlerangst erlebt wurde, verändern kann. So werden sowohl die Fehlerlernorientierung als auch die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler und die Fehlerangst als *traits* betrachtet.

In der Psychologie wird zwischen stabilen (trait) und situativen (state) Persönlichkeitsmerkmalen unterschieden (Schmitt & Blum, 2020). Die stabilen Persönlichkeitsmerkmale sind „Muster des Denkens, Fühlens und Verhaltens, die sich über ähnliche Situationen hinweg verallgemeinern, sich systematisch zwischen Individuen unterscheiden und über die Zeit hinweg relativ stabil bleiben“ (Schmitt & Blum, 2020, S. 5206). Situative Persönlichkeitsmerkmale „sind charakteristische Muster des Denkens, Fühlens und Verhaltens in einer konkreten Situation zu einem bestimmten Zeitpunkt. Im Gegensatz zu den [stabilen Dispositionen] variieren [situative Dispositionen] im Laufe der Zeit in Abhängigkeit von der Situation, in der sich die Person befindet“ (Schmitt & Blum, 2020, S. 5206).

Da angenommen wurde, dass sich die Fehlerlernorientierung, die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler und die Fehlerangst als Folgen einer Situation verändern können, kann daraus geschlussfolgert werden, dass sich diese beispielsweise durch eine Intervention zum Umgang mit Fehlern verändern können.

Wie im Kapitel 2.7.2 aufgezeigt wurde, bieten digital-basierte Lernprozesse geeignete Rahmenbedingungen, um eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. Daraus ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

F3.1: Inwiefern lässt sich der Umgang der Schüler*innen der Sekundarstufe I mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen?

Interventionsstudien zu den gewählten Untersuchungsvariablen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* und *Fehlerangst* in digital-basierten Lernprozessen gibt es nicht. Zudem sind auch nur wenige Interventionsstudien zum Umgang mit Fehlern bekannt. Diese Interventionsstudien setzen oft die Lehrpersonen in den Fokus und wollen deren Umgang mit Fehlern ändern. Das Ziel dieser Interventionsstudien ist es, dass sich die Verhaltensänderung im Umgang der Lehrpersonen mit Fehlern positiv auf den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern auswirkt (z. B. Heinze & Reiss, 2007; Oser & Spychiger, 2005). Oser und Spychiger (2005, S. 125) stellten beispielsweise die folgenden zehn Elemente des Umgangs mit Fehlern Lehrpersonen vor und arbeiteten diese in Workshops und Betreuungsseminaren mit den Lehrpersonen durch:

- „ 1. Fehlerdetektion vornehmen
2. Zeit zur Fokussierung nehmen
3. Exzessive Kontrastierung von richtig-falsch und deren Begründung stimulieren
4. Möglichkeit zur Öffentlichmachung des Fehlers erkennen
5. Aufbau von Gedächtnisstützen ermöglichen
6. Repetitionsmöglichkeiten schaffen
7. Überprüfung und Bewertung des richtigen Verhaltens bewirken (Schutzwissen)
8. Aufbau eines tragfähigen Bewertungssystems organisieren
9. Flexible Evaluation der individuellen Fehlermechanismen vornehmen
10. Langzeitwirkung des Geleisteten wiederholend überprüfen“

Anschließend entschieden sich die Lehrpersonen für ein Thema, das sie im Unterricht bearbeiteten. Bei der Bearbeitung sollten sie auf die zehn Elemente Rücksicht nehmen. Das Ziel war es, dass die Schüler*in-

nen das Falsche erkannten und mit der Norm des Richtigen vergegenwärtigten. Die sechs Lehrpersonen der Sekundarstufe I entschieden sich für die Themen a) Förderung des Sozialverhaltens in der Klasse: Miteinander, nicht gegeneinander; b) Optimierung des Geometrieunterrichts: Präziseres und effektiveres Arbeiten; c) Organisation einer Kochschule: Betonung von Aufräumen und effizienter Arbeitsverteilung; d) Entwicklung einer positiven Gesprächskultur: Interessantes Erzählen und effektives Diskutieren; e) Förderung einer Fehlerkultur: Schrittweise Verbesserungen im eigenen Tempo; f) Effektivität und Effizienz bei Hausaufgaben. Um Wirkungen der Interventionsstudie nachzuweisen, wurden sowohl vor als auch nach der Intervention Videoaufnahmen gemacht, welche miteinander verglichen wurden. Zusätzlich zu den Videos wurde der Schüler*innenfragebogen zum Umgang mit Fehlern in der Schule (*S-UFS*, vgl. Spychiger et al., 1999) auch vor und nach der Intervention eingesetzt. Der Schüler*innenfragebogen (*S-UFS*) war die erste Fassung der späteren Kurzfassung *S-UFS-K* und des weiterentwickelten Fragebogens *SchüFekU*. Er bestand aus 71 Items, welche die folgenden zehn Dimensionen abbilden (Spychiger et al., 2006, S. 91):

- „ 1. (Nicht-)Blossstellen
2. Ermutigung und Fürsorge
3. (Keine) Negativen Lehrperson-Reaktionen
4. Mitschüler-Reaktionen
5. Gute Strategien und Intensität der Auseinandersetzung mit Fehlern
6. (Keine) Negativen Emotionen bei der Auseinandersetzung mit Fehlern
7. Bedeutsamkeitseinschätzung und Fehlerbereitschaft
8. Fehlertoleranz der Lehrperson
9. Umgang der Lehrperson mit eigenen Fehlern
10. Möglichkeiten zur Korrektur und Repetition“

Items aus den Bereichen (5) *Gute Strategien und Intensität der Auseinandersetzung mit Fehlern* und (7) *Bedeutsamkeitseinschätzung und Fehlerbereitschaft* wurden zur Erstellung der Skala *Fehlerlernorientierung* im Fragebogen *SchüFekU* gewählt; Items aus dem Bereich (6) *(Keine) Negativen Emotionen bei der Auseinandersetzung mit Fehlern* wurden zur Erstellung der Skala *Fehlerangst* hinzugezogen (Spychiger et al., 2006).

Die Ergebnisse zeigten, dass bei allen sechs Interventionen durch die Lehrpersonen Veränderungen bei den Schüler*innen festgestellt wurden (Oser & Spychiger, 2005).

„In der Klasse [des Falls a)] wird weniger ausgelacht, in derjenigen [des Falls b)] hat die Teamfähigkeit zugenommen und [bei der Lehrperson des Falls c)] gehen die Schülerinnen und Schüler überlegter an Aufgaben heran. In der Klasse [des Falls d)] sind Schimpfwörter verschwunden, und es herrscht ein gesprächsbereites Klima, [bei der Lehrperson des Falls e)] sind die Schülerinnen und Schüler gewillter, sich gut auszudrücken und etwas aufzuschreiben. Und schließlich gilt für die Klasse [des Falls f)], das die Hausaufgaben vollständiger und besonnener erledigt werden“ (Oser & Spychiger, 2005, S. 147).

Jedoch konnten mit dem Schüler*innenfragebogen zum Umgang mit Fehlern in der Schule (*S-UFS*) keine Veränderungen zwischen der Pre- und Posttestmessung in den neun Bereichen festgestellt werden (Oser & Spychiger, 2005).

Eine Interventionsstudie von Heinze und Reiss (2007) im Mathematikunterricht kam zu ähnlichen Ergebnissen. Auch sie konnten zeigen, dass sich das fehlerbezogene Verhalten von Lehrpersonen, die eine Fortbildung zum Umgang mit Fehlern erhielten, positiv veränderten und sich dieses zudem positiv auf die Problemlösefähigkeit der Schüler*innen auswirkte.

Rach, Ufer und Heinze (2013) untersuchten in einer quasi-experimentellen Studie im Mathematikunterricht mit Schüler*innen der 6. bis 9. Klassen die Auswirkungen von Lehrpersonenausbildungen zum Umgang mit Fehlern auf die Einstellung der Schüler*innen zu Fehlern als Lerngelegenheiten. Dazu wurden zwei Interventionsgruppen und eine Kontrollgruppe gebildet. Die Lehrpersonen der einen Interventionsgruppe besuchten eine Fortbildung, in der sie über den möglichen Nutzen von Fehlern sowie über einige empirische Erkenntnisse informiert wurden. „Sie wurden ermutigt, Fehler als Lerngelegenheiten und nicht als nutzlose Unterbrechungen des Unterrichts zu betrachten. Insbesondere wurden Aspekte einer fehlertoleranten und fehlerpositiven Kultur für den Mathematikunterricht erörtert“ (Rach et al., 2013, S. 25). Die Lehrpersonen der zweiten Interventionsgruppe besuchten dieselbe Fortbildung, erhielten aber Materialien, welche konkrete Ideen

zur kognitiven Unterstützung der Schüler*innen beinhalteten. Diese Ideen befassten sich mit Strategien, welche beim Lernen mit Fehlern eingesetzt werden konnten. Sie sollten die Schüler*innen ermutigen, über Fehler nachzudenken. Lehrpersonen der Kontrollgruppe führten ihre regulären Lektionen ohne Fortbildung und ohne Zusatzmaterialien durch (Rach et al., 2013). Um Veränderungen zu erfassen, setzten Rach et al. (2013) eine leicht angepasste Version des Fragebogen *SchüFekU* von Spychiger et al. (2006) mit den vier Bereichen Fehlerfreundlichkeit, Normtransparenz, Fehlerangst und Fehlerlernorientierung jeweils vor und nach der Intervention ein. Rach et al. (2013) konnten keine Effekte auf die Normtransparenz sowie die Fehlerlernorientierung feststellen. Jedoch hatte die Intervention signifikante Effekte auf die Fehlerfreundlichkeit sowie die Fehlerangst. Bei diesen Variablen konnten sie aber keine Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen feststellen.

Auch sind nur wenige Interventionsstudien zum Umgang mit Fehlern in digital basierten Lernprozessen bekannt. Beege et al. (2021) untersuchten beispielsweise den Einfluss von einfachen syntaktischen und komplexen semantischen Fehlern mit einem faktoriellen Design mit zwei (syntaktische Fehler: ja vs. nein) mal zwei (semantische Fehler: ja vs. nein) Versuchsgruppen in einem Programmierszenario.

„Gemessen wurden die Genauigkeit der Schüler*innen bei der Fehlererkennung und -korrektur, die Lernleistung, die mentale Belastung und die mentale Anstrengung. Die Ergebnisse zeigten, dass Lernende, die syntaktische Fehler erhielten, Fehler mit höherer Genauigkeit erkannten und korrigierten, was zu einer höheren Lernleistung führte. Semantische Fehler hatten keinen Einfluss auf lernbezogene Variablen, da semantische Fehler für Lernanfänger zu schwierig zu erkennen und zu korrigieren waren“ (Beege et al., 2021, S. 1).

Da die genannten Interventionsstudien teilweise positive Effekte auf unterschiedliche Aspekte des Umgangs der Schüler*innen mit Fehlern aufwiesen, wurden die folgenden Hypothesen formuliert:

H3.1.1: Unmittelbar nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe eine höhere Fehlerlernorientierung als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.
--

H3.1.2: Unmittelbar nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

H3.1.3: Unmittelbar nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe weniger Angst vor Fehlern als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

Neben der direkten Wirkung der Intervention ist im schulischen Kontext auch die nachhaltige Wirkung von Interesse. Daher wird auch die folgende Forschungsfrage untersucht:

F3.2: Inwiefern ist die Wirkung auf den Umgang mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar?

Die Nachhaltigkeit der Wirkung der Intervention wurde von Oser und Spychiger (2005), von Heinze und Reiss (2007), Rach et al. (2013) oder von Beege et al. (2021) nicht untersucht. Allgemein kann festgestellt werden, dass nachhaltige Wirkungen in Bezug auf Interventionsstudien im Unterricht eher selten untersucht werden (sh. auch Smit, Hess, Bachmann, Blum & Birri, 2019). Bei Untersuchungen von Wirkungen von Interventionsstudien sind nur in wenigen Fällen nachhaltige Effekte festzustellen (Glazerman et al., 2010; Yeager & Walton, 2011). Yeager und Walton (2011) beschreiben einige Studien, die nachhaltige Effekte noch Monate oder Jahre später nachweisen konnten. Bei diesen Interventionen handelt es sich um sozialpsychologische Interventionen im Bildungsbereich, die auf die Gedanken, Gefühle und Überzeugungen der Schüler*innen abzielten und Leistungssteigerungen nachweisen konnten. „Diese Interventionen vermitteln den Schüler*innen keine akademischen Inhalte, sondern zielen auf die Psychologie der Schüler*innen ab, z. B. auf ihre Überzeugung, dass sie das Potenzial haben, ihre Intelligenz zu verbessern, oder dass sie in der Schule dazugehören und geschätzt werden“ (Yeager & Walton, 2011, S. 267). Diese Interven-

tionen haben nach Yeager und Walton (2011, S. 267) nachhaltige Wirkungen, „weil sie auf die subjektiven Erfahrungen der Schüler*innen in der Schule abzielen, weil sie überzeugende, aber unauffällige Methoden zur Vermittlung psychologischer Ideen anwenden und weil sie rekursive Prozesse im Bildungsumfeld nutzen“.

Eine Intervention zum Umgang mit Fehlern kann auch als eine sozialpsychologische Intervention gesehen werden. Obwohl durch die Intervention keine Leistungssteigerung, wie bei den Beispielen mit den positiven nachhaltigen Wirkungen von Yeager und Walton (2011), gemessen wird, wird angenommen, dass eine Intervention auch nachhaltige Effekte auf die manipulierten Variablen haben kann. Daher wurden die folgenden beiden Hypothesen formuliert:

H3.2.1: Zwei Monate nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe eine höhere Fehlerlernorientierung als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

H3.2.2: Zwei Monate nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

H3.2.3: Zwei Monate nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe weniger Angst vor Fehlern als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

3.4 Wirkung einer Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Die Entwicklung eines adäquaten Verständnisses von NOS ist ein Ziel des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017). Wie im Kapitel 2.4 dargestellt, ermöglichen Fehler ein besseres Verständnis wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht. Daher wird zudem der Frage nachgegangen, inwiefern sich das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-

Aspekten in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen lässt.

F4.1: Inwiefern lässt sich das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen?

Analog zur Forschungsfrage 3.1 wird auch in Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten angenommen, dass dieses durch eine Intervention positiv beeinflusst werden kann, das heißt, dass die Schüler*innen nach einer Intervention ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten haben. Daher wurde die folgende Hypothese formuliert:

H4.1.1: Unmittelbar nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

Da auch in Bezug auf das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten von Interesse wäre, einen nachhaltigen Effekt durch die Intervention zu erzielen, wurde analog zur Forschungsfrage 3.2 der nachfolgenden Frage nachgegangen:

F4.2: Inwiefern ist die Wirkung auf das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar?

Auch in Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten wurde angenommen, dass der Effekt noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist:

H4.2.1: Zwei Monate nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als Schüler*innen der Kontrollgruppe.

3.5 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit

Da mit den Forschungsfragen 3.1, 3.2, 4.1 und 4.2 eine Veränderung über drei Zeitpunkte befragt wurde, wurde zudem der Frage nachgegangen, wie stabil sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und der Umgang der Schüler*innen mit Fehlern über die Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) zeigen:

F5.1: Wie stabil zeigen sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und die Fehlerlernorientierung über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 ?

Unter Stabilität wird die Stabilität interindividueller Unterschiede über die Zeit verstanden (Geiser, 2010):

„Eine hohe Stabilität eines Merkmals zeigt, dass die Rangreihe von Merkmalsausprägungen der untersuchten Beobachtungseinheiten (z. B. Befragte) über die Zeit hinweg stabil ist: Individuen, welche zu einem früheren Messzeitpunkt höhere Merkmalsausprägungen im Vergleich zu anderen Individuen aufweisen, haben auch zu einem späteren Messzeitpunkt höhere Werte. Dies ist unabhängig von Veränderungen in den absoluten Werten, also Veränderungen des Stichprobenmittels“ (Kleinke, Schlüter & Christ, 2017, S. 112).

Die Stabilität wird zusammen mit der Fragestellung 5.2 zur wechselseitigen Wirkung der Variablen über die Zeit mit einem autoregressiven Strukturgleichungsmodell (ARM) untersucht (vgl. Kap. 5.3.2). Im ARM wird bei der wechselseitigen Wirkung über die Zeit mit direkten Effekten gerechnet. Die Hypothese 2.1 postuliert, dass ein direkter Effekt zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung besteht. In Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie die Fehlerangst wird neben einem direkten Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler (H. 2.2) sowie die Fehlerangst (H2.3) vermutet, dass der Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-

motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie die Fehlerangst über die Fehlerlernorientierung vermittelt wird (H2.4 und H2.5). Somit wäre der Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie die Fehlerangst komplexer als ein direkter Effekt zwischen den Variablen. Aus diesem Grund wird in diesem Modell nur noch die Fehlerlernorientierung berücksichtigt.

In Bezug auf die Fehlerlernorientierung und das Verständnis von NOS-Aspekten wird erwartet, dass Schüler*innen, die zu t_1 hohe Werte bei der Fehlerlernorientierung bzw. beim Verständnis von NOS-Aspekten aufweisen, auch bei t_2 und bei t_3 hohe Werte aufweisen, oder umgekehrt, dass Schüler*innen, die zu t_1 eher tiefe Werte bei der Fehlerlernorientierung bzw. beim Verständnis von NOS-Aspekten aufweisen, auch bei t_2 und bei t_3 eher tiefe Werte aufweisen. Wie aus den Ausführungen von Kleinke et al. (2017, S. 112) ersichtlich wird, kann die Rangreihe gleich bleiben, auch wenn sich der Stichprobenmittelwert verändert. So hat ein Schüler oder eine Schülerin innerhalb der Stichprobe noch immer denselben Rang, auch wenn der Mittelwert zu einem späteren Zeitpunkt höher oder tiefer ist. Daher wird erwartet, dass sich sowohl das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten als auch deren Fehlerlernorientierung über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 stabil zeigen. Aufgrund dessen wird die folgende Hypothese angenommen:

H5.1.1: Das Verständnis von NOS-Aspekten zeigt sich über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 stabil, insofern frühere Ausprägungen des Verständnisses von NOS-Aspekten spätere Ausprägungen des Verständnisses von NOS-Aspekten vorhersagen.

H5.1.2: Die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen zeigt sich über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 stabil, insofern frühere Ausprägungen der Fehlerlernorientierung spätere Ausprägungen der Fehlerlernorientierung vorhersagen.

Um sich kausalen Effekten zwischen den Variablen *Verständnis von NOS-Aspekten* und *Umgang mit Fehlern* über die Zeit anzunähern, wurde zusätzlich die folgende Forschungsfrage untersucht:

F5.2: Welche wechselseitigen Wirkungen haben das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und der Umgang mit Fehlern über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 ?

Im Modell der CVTAE von Pekrun (2006) wurde das Verständnis von NOS-Aspekten bei der (Lern)Umgebung verortet und die Fehlerlernorientierung bei den Leistungszielen und Überzeugungen. Da aufgrund der wechselseitigen Pfeile im Modell angenommen werden kann, dass die (Lern)Umgebung einen Einfluss auf die Leistungsziele und Überzeugungen haben kann sowie auch die Leistungsziele und Überzeugungen auf die (Lern)Umgebung wirken können, werden zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung reziproke Wirkungen angenommen. Daraus wurden die folgenden Hypothesen abgeleitet:

H5.2.1: Ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt geht mit einem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt einher.

H5.2.2: Ein hoher Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt geht mit einem hohen Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt einher.

3.6 Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess

Bei den Fragestellungen 2–5 wurden sowohl beim Umgang mit Fehlern als auch bei NOS einige Aspekte für die statistischen Berechnungen ausgewählt. Jedoch sind die beiden Konstrukte Umgang mit Fehlern und NOS komplexer konstruiert. Auch die Zusammenhänge der beiden Konstrukte sind komplexer und durch die statistischen Berechnungen noch zu wenig kontextualisiert. Daher stellt sich folglich noch die Frage, welches Verständnis die Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess haben:

F6.1: Welches Verständnis haben die Schüler*innen der Sekundarstufe I von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess?⁹

Da, wie im Kapitel 4.2 dargestellt, die Interviews erst nach der Interventionsstudie durchgeführt wurden, um Verfälschungen vor der Interventionsstudie zu vermeiden, wurde drei Monate nach der Intervention der folgenden Fragestellung nachgegangen:

F6.2: Inwiefern unterscheidet sich das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess drei Monate nach der Intervention?

Obwohl die Interviews ca. einen Monat nach dem Follow-up-Test geführt wurden, wurde analog zu den Hypothesen 3.2.1, 3.2.2 und 4.2.1 auch in Bezug auf das Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess die folgende Hypothese formuliert:

H6.2.1: Drei Monate nach der Intervention haben die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe ein adäquateres Verständnis von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess als Schüler*innen der Kontrollgruppe.

⁹ Die Forschungsfrage 6.1 wird, wie im Methodenteil dargestellt, mit einem qualitativen Vorgehen beantwortet. Daher werden hier keine Hypothese aufgestellt.

4 Methoden

Die Fragestellung 1 zum Einfluss des Umgangs mit Fehlern auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren sowie die Fragestellung 2 zum Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern implizierten ein quantitatives Vorgehen mit einem Fragebogen mit Skalen zum Konstrukt Umgang mit Fehlern (*Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, Fehlerangst*), zur *intrinsischen Motivation zum visuellen Programmieren*, zur *Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren* und zum *Verständnis von NOS-Aspekten*.

Zur Untersuchung der Fragestellungen 3.1 und 3.2 zur Wirkung einer Intervention auf den Umgang mit Fehlern und der Fragestellungen 4.1 und 4.2 zur Wirkung einer Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten war eine Intervention nötig, sowie die beiden zusätzlichen Messzeitpunkte direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3).

Zur Beantwortung der Fragestellungen 5.1 und 5.2 zur wechselseitigen Wirkung zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und dem Umgang mit Fehlern über die Zeit sowie zur Stabilität dieser Konstrukte über die Zeit waren Messzeitpunkte vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) sowie zwei Monate nach der Intervention (t_3) nötig.

Die Fragestellung 6.1 zum Verständnis der Schüler*innen von den Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess und die Fragestellung 6.2 zum Einfluss einer Intervention implizierten ein qualitatives Vorgehen, wobei auch für die Forschungsfrage 6.2 eine Intervention nötig war.

Eine Intervention ist eine entwickelte Maßnahme, mit der eine Wirkung auf den Untersuchungsgegenstand erzielt werden soll (Bortz & Döring, 2006). Im Rahmen der vorliegenden Studie war es das Ziel, durch eine Intervention einen positiven Effekt auf den Umgang mit Fehlern sowie einen positiven Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zu erzielen. Zur Beantwortung der Forschungsfragen 3, 4, 5 und 6.2 wurde folglich eine Intervention zum Umgang mit Fehlern unter Berücksichtigung einiger NOS-Aspekte erstellt. Da digital-basierte Lernprozesse geeignete

Rahmenbedingungen bieten, einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern, wurde ein solcher Untersuchungsraum, namentlich das Schüler*innenlabor *Smartfeld*, für die Interventionsstudie hinzugezogen.

4.1 Untersuchungsraum

4.1.1 Schüler*innenlabor *Smartfeld*

Im August 2018 wurde in der Schweiz im Kanton St.Gallen im Rahmen der digitalen Transformation das Schüler*innenlabor *Smartfeld*¹⁰ unter dem Motto *Technologie und Kreativität* eröffnet. Im informellen Lernsetting *Smartfeld* werden verschiedene Workshops für Schüler*innen unterschiedlicher Schulstufen sowie Lehrer*innenweiterbildungen angeboten, die das Ziel verfolgen, Naturwissenschaften und Technik und deren Bedeutung durch den Blickwinkel der Digitalisierung in einem anderen Licht wahrzunehmen und zu verstehen. Das Schüler*innenlabor *Smartfeld* befindet sich im Start-up-Ökosystem von *Startfeld*¹¹. Die Kursräume befinden sich neben verschiedenen kleineren und größeren Start-ups, Silent Offices, Co-Working-Spaces, einer Piazza mit Billardtisch, Küche und Werkräumen, welche mit Lasercuttern oder 3-D-Druckern ausgestattet sind. Diese Verortung stellt in der Schweiz zurzeit ein Alleinstellungsmerkmal dar, das besondere Vorteile mit sich bringt. Zu den Vorteilen gehören beispielsweise, dass Schüler*innen einen inspirierenden Wissensraum erfahren. Darin lernen sie neue Berufsfelder und Arbeitsplätze sowie eher unbekanntere Arbeitsweisen kennen.

In der Start-up-Szene werden neue Ideen erprobt, Erkenntnisse kommuniziert oder es wird an der Vermarktung von Produkten gearbeitet. Auf diesem Weg werden viele Fehler gemacht und eine positive Fehlerkultur wird gelebt. Fehler werden dabei als zentrale Bestandteile des Erkenntnisgewinnungsprozesses gesehen und als Lerngelegenheit genutzt. Auch tauschen sich die Mitarbeiter*innen unterschiedlicher Start-ups über ihre Fehler aus, z. B. intern auf der Piazza oder extern an „Fuckup

¹⁰ www.smartfeld.ch (19.11.2023)

¹¹ www.startfeld.ch (19.11.2023)

Nights“. Fuckup Nights sind Veranstaltungen, bei denen Vorträge über berufliche Fehler, Misserfolge und gescheiterte Projekte gehalten werden. Diese Vorträge sollen anderen einerseits dabei helfen zu erkennen, dass das Fehlermachen dazugehört und dass aus Fehlern gelernt werden kann und andererseits anderen zu helfen, ähnliche Fehler zu vermeiden und wie sie besser mit Misserfolgen umgehen können.

Der Schüler*innenworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* stellt naturwissenschaftlich-technische Probleme ins Zentrum und lebt den Spirit der Start-ups, wie das gemeinsame Arbeiten an Aufgaben, den Austausch über Probleme und Lösungswege, das Arbeiten mit für Schüler*innen eher neuen Arbeitsweisen, wie beispielsweise der Trial-and-Error-Methode, und einer positiven Fehlerkultur.

4.1.2 Schüler*innenworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*

Der Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* wurde unter der Leitung von Prof. Dr. Mathias Kirf entwickelt und verfolgt das Ziel, Naturwissenschaften und Technik unter dem Blickwinkel der Digitalisierung neu zu betrachten. Im siebenstündigen Schüler*innenworkshop lösen die Schüler*innen naturwissenschaftlich-technische Problemstellungen mithilfe der visuellen Programmiersprache *Microsoft MakeCode* für *micro:bit*. Wie im Kapitel 2.7.2 ausgeführt, werden durch die visuelle Programmierung typische, aber nicht lösungsrelevante Fehlerquellen der Programmierung, wie die korrekte Verwendung der Syntax oder die effektive Variablenverwaltung, zunächst beseitigt. Dies erleichtert den Schüler*innen die Konzentration auf die Problemlösung und ermöglicht erstmals auch bei komplexeren Programmen eine effektive Intervention durch die Lehrpersonen, da Abhängigkeiten und die korrekte Befolgung von Programmierregeln durch die Farbcodierung der einzelnen Blöcke viel schneller zugänglich sind (Hielscher & Honnegger, 2015; Kelleher & Pausch, 2005).

Das inhaltliche Ziel des Workshops ist es, Programme für die 16x16-LED-Matrix, die sich auf einem T-Shirt befindet, zu entwickeln. Die

Matrix ist mit Berührungs-, Licht- und Temperatursensoren verknüpft, wodurch sich interaktive, umweltgesteuerte Projekte verwirklichen lassen. Dieses T-Shirt mit Matrix wird Smart Shirt genannt (Abbildung 8).

4.1.2.1 Inhalte des Schüler*innenworkshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*

Als Einstieg in den Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* wurden am Vormittag das Konzept von *Smartfeld* und das Ziel des Workshops präsentiert. Im anschließenden theoretischen Teil wurde das Prinzip E.V.A. (Eingabe – Verarbeitung – Ausgabe) zum Verständnis der Funktionsweise von technischen Geräten vorgestellt. Konkrete Beispiele von E.V.A. wurden anhand verschiedener Apps aufgezeigt. Mit einem kurzen historischen Abriss wurde außerdem das Prinzip E.V.A. von den Anfängen des Computers als Rechenzentrum über den Laptop bis hin zum kleinen Einplatinencomputer *micro:bit* thematisiert. Das Prinzip E.V.A. wurde dann gemeinsam am ersten Projekt angewendet. Das Ziel des ersten Projektes war es, einen Messenger zu programmieren, der über visuelle Morsezeichen kommuniziert. Das Projekt wurde in verschiedene Schritte zerlegt. Im ersten Schritt sollten die Schüler*innen die LEDs richtig anschließen, ansteuern und anschalten. Im zweiten Schritt wurde ein Taster eingebaut, damit wie mit einem Morsegerät gemorst werden konnte. Erst im dritten Schritt mussten sie das Morsen automatisieren (Abbildung 9).

Nach einer Pause am Vormittag wurde das Debuggen als Arbeitstechnik behandelt. Dazu wurde von den einfachen LEDs auf einen LED-Streifen gewechselt, auf dem sich 10 LEDs befanden. Nach dem Umbau der Technik wurden die Geschichte der Herkunft des Begriffs Bug erzählt und die Debugging-Aufgabe erklärt. Die Schüler*innen erhielten daraufhin fehlerhafte Codes, die sie verbessern mussten. Dabei arbeiteten sie oft nach der Trail-and-Error-Methode (Abbildung 10).

Am Nachmittag wurde auf die LED-Matrix gewechselt, auf der sich 256 LEDs befanden. Um den Aufbau dieser Matrix zu verstehen, wurde eine erste Aufgabe gelöst. Bei dieser Aufgabe ging es darum, verschiedene



Abbildung 8: Smart Shirt (Fotograf: Leo Boesinger)



Abbildung 9: Erstes Projekt, Aufgaben mit LEDs (Fotograf: Leo Boesinger)



Abbildung 10: Debugging-Aufgabe mit dem LED-Streifen (Fotograf: Leo Boesinger)



Abbildung 11: Flaggen für das Smart Shirt programmieren (Fotograf: Leo Boesinger, bearbeitet von Clemens Waibel)

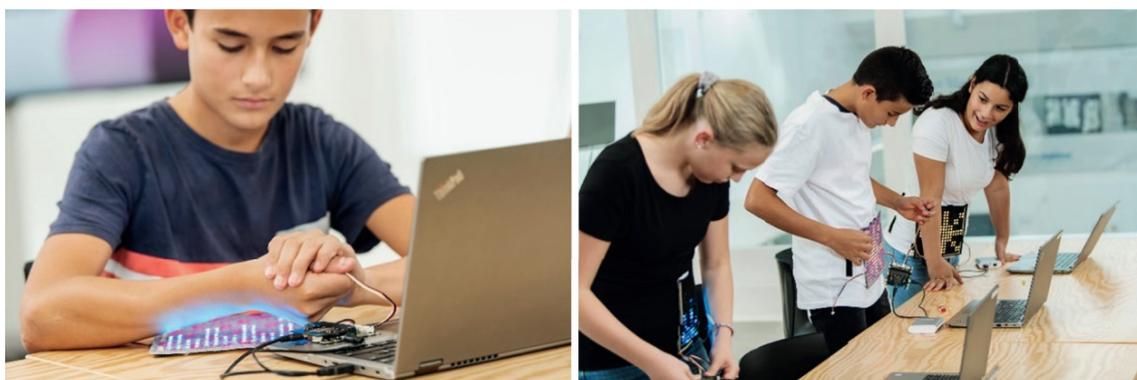


Abbildung 12: Wettershirt (Fotograf: Leo Boesinger)

Flaggen zu programmieren, die auf der LED-Matrix auf dem Smart Shirt angezeigt werden (Abbildung 11).

Danach entwickelten die Schüler*innen ein zweites Smart Shirt. Sie erhielten den Auftrag, einen Wetteranzeiger zu programmieren, also ein Shirt, das auf Lichtstärke reagiert und je nach Lichtstärke ein anderes Motiv anzeigt (Abbildung 12).

Als Abschlussprojekt entwickelten die Schüler*innen ein Fahrradschirt, das analog zur *Emoji Jacke* von Ford entworfen wurde. Die *Emoji Jacke* von Ford verfügt über eine LED-Matrix auf der Rückseite, auf welcher drei Emojis mit fröhlichem, neutralem oder traurigem Gesicht, Richtungspfeile nach links und rechts sowie ein Gefahrensignal mittels drahtloser Fernbedienung auf dem Lenker des Fahrrads abgebildet werden können. Das Ziel dieser experimentellen Jacke ist, die Kommunikation im Straßenverkehr zu fördern (Ford media center, 2020). Durch

das Drücken der Knöpfe A und B auf dem *micro:bit* soll das Fahrradshirt nach links (A) oder rechts (B) blinken. Außerdem soll das Fahrradshirt auf Erschütterungen reagieren und den nachfolgenden Verkehrsteilnehmenden einen Warnhinweis geben.

4.1.3 Lehrplanbezug des Schüler*innenworkshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* zum Kompetenzbereich Medien und Informatik

Der digitale Wandel spiegelt sich auch im Fachbereich Medien und Informatik wider. Der Bereich Medien und Informatik wurde intensiv überarbeitet. Neu finden sich in diesem Bereich Medienbildung und Mediennutzung (Bereich Medien), informatorische Bildung (Bereich Informatik) und Anwendungskompetenzen wieder. Das Tastaturschreiben gehört neu zum Fachbereich Deutsch. Unter Anwendungskompetenzen versteht man, wie der Begriff bereits vermuten lässt, das Erlernen von unterschiedlichen Anwendungen. Dazu zählen beispielsweise die Computernutzung, eine systematische Datenablage oder das Strukturieren und Gestalten von Texten oder Präsentationen. Diese Anwendungskompetenzen sind fächerübergreifend nutzbar (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017).

Die Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich Medien und Informatik, an welchen im Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* gearbeitet wurde, wurden vom Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 512–513) tabellarisch übernommen (Tabelle 3).

4.1.4 Fehlertypen im Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*

Wie bereits im Kapitel 4.1.2 beschrieben, lösten die Schüler*innen im Workshop naturwissenschaftlich-technische Problemstellungen mithilfe der visuellen Programmiersprache *Microsoft MakeCode* für *micro:bit*. Dabei haben die Schüler*innen unterschiedliche Fehler gemacht. Die Fehler konnten naturwissenschaftlich-technischer Art,

Tabelle 3: Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich MI.2 Informatik (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 512–513)

<p>MI.2 Informatik</p> <p>2. Die Schülerinnen und Schüler können einfache Problemstellungen analysieren, mögliche Lösungsverfahren beschreiben und in Programmen umsetzen.</p> <p>M.I.2.2.g: Die Schülerinnen und Schüler können selbstentdeckte Lösungswege für einfache Probleme in Form von lauffähigen und korrekten Computerprogrammen mit Schleifen, bedingten Anweisungen und Parametern formulieren.</p>
<p>M.I.2.2.h: Die Schülerinnen und Schüler können selbstentwickelte Algorithmen in Form von lauffähigen und korrekten Computerprogrammen mit Variablen und Unterprogrammen formulieren.</p>
<p>M.I.2.2.i: Die Schülerinnen und Schüler können verschiedene Algorithmen zur Lösung desselben Problems vergleichen und beurteilen (z. B. lineare und binäre Suche, Sortierverfahren).</p>
<p>3. Die Schülerinnen und Schüler verstehen Aufbau und Funktionsweise von informationsverarbeitenden Systemen und können Konzepte der sicheren Datenverarbeitung anwenden.</p> <p>M.I.2.3.l: Die Schülerinnen und Schüler kennen die wesentlichen Eingabe-, Verarbeitungs- und Ausgabeelemente von Informatiksystemen und können diese mit den entsprechenden Funktionen von Lebewesen vergleichen (Sensor, Prozessor, Aktor und Speicher).</p>

mathematischer Art oder informatik- bzw. programmierspezifisch sein. Die Fehler, welche sich im Workshop ereigneten, wurden für die vorliegende Arbeit analysiert und unter Heranziehen der Kapitel 2.7.1, 2.7.2 und 2.7.3 typisiert. Dazu wurden alle Aufgaben, die im Workshop gestellt wurden, erneut gelöst und mögliche Fehler bzw. Fehlertypen notiert. Anschließend wurden Schüler*innen in zahlreichen Workshops beobachtet und weitere Fehlertypen anhand der Schüler*innenfehler ergänzt. Die Fehler wurden schlussendlich in die Fehlertypen Materialfehler, Beobachtungsfehler und Programmierfehler eingeteilt. Der Materialfehler wurde aus der Typisierung naturwissenschaftlich-technischer Fehler von Allchin (2001) übernommen. Im Workshop konnten Materialfehler aufgrund von unsachgemäßen Materialien oder aufgrund einer unsachgemäßen Vorgehensweise passieren. Unsachgemäße Materialien können fehlerhafte oder defekte Materialien sein. Im

Workshop konnten dies alle technischen Geräte sein, wie der *micro:bit*, eine einfache LED oder auch der LED-Strip, die LED-Matrix oder die unterschiedlichen Sensoren. Zu einer unsachgemäßen Vorgehensweise im Workshop gehörte, wenn die Materialien falsch oder nicht angeschlossen wurden. Dies konnte beispielsweise der Fall sein, wenn die beiden Krokodilklemmen an einen Pluspol geklemmt oder Sensoren in die falsche Buchse gesteckt wurden.

Auch der Beobachtungsfehler wurde aus der Typisierung naturwissenschaftlich-technischer Fehler von Allchin (2001) übernommen. Beobachtungsfehler passieren aufgrund von ungenauen Beobachtungen. Ein gutes Beispiel zur Veranschaulichung eines Beobachtungsfehlers lieferte die Debugging-Aufgabe mit dem LED-Strip. Bei dieser Aufgabe sollten die Schüler*innen den Code so verbessern, dass das Licht auf dem LED-Strip vom einen Ende zum anderen läuft und wieder zurück. Dabei kam es oft vor, dass die Schüler*innen nicht sahen, dass die erste LED auf dem Strip nicht leuchtet oder dass die letzte LED zweimal leuchtet. Zu dieser Art des Beobachtungsfehlers kam es, wenn die Schüler*innen ihre Aufmerksamkeit nicht auf diesen Bereich des LED-Strips gelegt haben. Im Workshop konnten außerdem Beobachtungsfehler passieren, wenn die Technik schneller war als das menschliche Auge. So konnten LEDs als konstant leuchtend wahrgenommen werden, obwohl sie flimmerten, das heißt, sehr schnell an- und ausgestellt wurden.

Unter Programmierfehlern wurden sämtliche programmierspezifische Fehler subsummiert. Diese können mit einer gewissen Analogie zu den konzeptionellen Fehlern aus der Typisierung naturwissenschaftlich-technischer Fehler von Allchin (2001) gesehen werden, denn zu den Programmierfehlern gehören auch Denkfehler. Beispiele hierfür wären Logikfehler (Bedingungen, die nicht erfüllt werden können, die Abbruchbedingung wurde nicht programmiert) oder falsche Annahmen wie etwa die Vermutung, dass in der Informatik bei 1 anstatt bei 0 zu zählen begonnen wird. Des Weiteren gehören auch ein Mangel an alternativen Erklärungen und eine begrenzte Kreativität zu Programmierfehlern. Dazu zählt beispielsweise das Wissen, dass Programme möglichst einfach und kurz geschrieben werden sollten.

Es hätte die Möglichkeit bestanden, die beobachteten programmierspezifischen Fehler in die drei Fehlertypen syntaktische Fehler, semantische Fehler und Laufzeitfehler von Downey (2012) einzuteilen. Jedoch konnten im Workshop Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien keine syntaktischen Fehler passieren, da nicht mit einer textbasierten, sondern mit der visuellen Programmiersprache *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* programmiert wurde. Durch die visuelle Programmierung wurden typische, aber nicht lösungsrelevante Fehlerquellen der Programmierung, wie die korrekte Verwendung der Syntax oder die effektive Variablenverwaltung, zunächst beseitigt (Hielscher & Honegger, 2015; Kelleher & Pausch, 2005). Semantische Fehler und Laufzeitfehler (Run Time Error) konnten im Workshop theoretisch passieren. Zu den semantischen Fehlern im Workshop gehörten beispielsweise eine falsch gesetzte Initialisierung, vergessene Anfangsbedingungen oder eine zu späte Definition von Variablen. Außerdem konnte der Befehl von 1 = an (Strom fließt) und 0 = aus (Strom fließt nicht) falsch herum programmiert werden, d.h. mit 1 = aus und 0 = an. Laufzeitfehler hätten sich dadurch gezeigt, dass ein Programm in der Simulation einwandfrei funktioniert hätte, aber nicht in der Realität. Die Programmierumgebung *MakeCode* hat einen integrierten Simulator, mit welchem die Programme getestet werden können, bevor sie auf den *micro:bit* geladen werden. Daher wäre der Laufzeitfehler auch im Rahmen des Workshops möglich gewesen. Er wurde aber nicht beobachtet. Entweder funktionierten die Programme bereits im Simulator nicht oder funktionierten sowohl im Simulator als auch auf dem *micro:bit*. Somit konnten nach der Typisierung von Downey (2012) im Workshop nur semantische Fehler beobachtet werden. Daher wurde überlegt, einzelne programmierspezifische Fehlertypen für die im Workshop verwendete visuelle Programmiersprache *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* analog zur Typisierung von programmierspezifischen Fehlertypen der visuellen Programmiersprache *Scratch* von der Universität Passau (o.J.) oder von Frischherz (2019) zu erstellen (vgl. Kapitel 2.7.2). Dazu wäre es jedoch nötig gewesen, auch mathematikspezifische Fehlertypen, die beim Programmieren passieren, aufzunehmen. So konnten beispiels-

weise syntaktische Fehler aus der Typisierung mathematischer Fehler von Prediger und Wittmann (2009) (vgl. Kapitel 2.7.1) beim Umrechnen passieren. *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* stellt die *Pausiere-Blöcke* in Millisekunden dar. Dies führt dazu, dass die Schüler*innen die Einheit umrechnen mussten, wenn in der Aufgabe verlangt wurde, dass die LED 0,5 Sekunden lang leuchten soll. Da eine Unterteilung nach Downey (2012) und eine Liste mit einzelnen programmierspezifischen Fehlern als weniger passend für den Einsatz im Workshop betrachtet wurde, wurde entschieden, alle programmierspezifischen Fehler unter den Fehlertyp Programmierfehler zu subsumieren, denn es reichte, wenn die Schüler*innen im Workshop die drei Fehlertypen Materialfehler, Beobachtungsfehler und Programmierfehler kennen und anhand dieser nach der Ursache suchen konnten.¹² Im Kapitel 4.2.1 wird beschrieben, wie die Fehlertypen in der Interventionsstudie zum Einsatz kamen.

4.2 Forschungsdesign

Da die Fragestellungen unterschiedliche methodische Zugänge erforderten und bei der empirischen Untersuchung sowohl ein Ist-Zustand als auch eine Veränderung befragt wurden, wurden die Daten mittels Mixed-Methods in einem Längsschnittdesign mit Pre, Post- und Follow-up-Test erhoben. Zwischen Pre- und Posttest wurde eine Interventionsstudie im *Smartfeld-Tagesworkshop Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt. Die quantitativen Daten wurden mit Fragebögen direkt vor dem Workshop (Prätest), direkt nach dem Workshop (Posttest) und zwei Monate nach dem Workshop (Follow-up-Test) erhoben. Nach Theyßen (2014) geben

¹² Es gilt zu beachten, dass neben den drei Fehlertypen *Materialfehler*, *Beobachtungsfehler* und *Programmierfehler* auch *Flüchtigkeitsfehler* passieren können. Diese können, wie Prediger und Wittmann (2009) beschrieben haben, von den Schüler*innen sofort verbessert werden, wenn sie darauf hingewiesen werden. Ein klassischer *Flüchtigkeitsfehler* im Workshop ist, dass die Schüler*innen vergessen, das Programm auf den *micro:bit* zu laden. In diesem Fall wird das zuletzt heruntergeladene Programm abgespielt und Änderungen im Code werden nicht sichtbar.

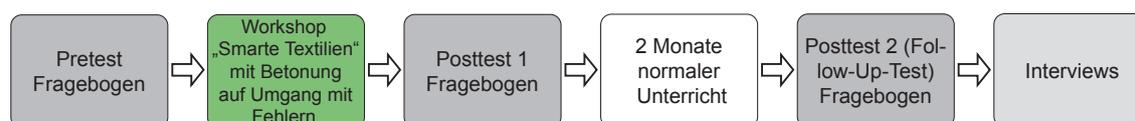
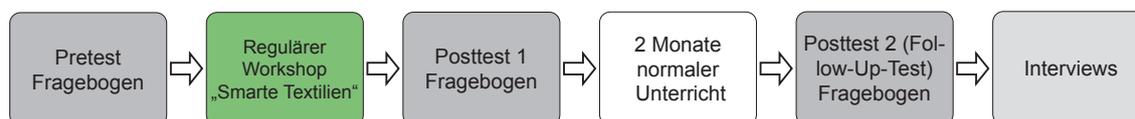
Kontrollgruppe**Interventionsgruppe**

Abbildung 13: Forschungsdesign

vor allem die Interventionsdauer und intensität Hinweise darauf, wann ein Follow-up-Test durchgeführt werden sollte. Eine feste Regel gibt es dabei aber nicht. Es gilt: „Je länger und intensiver die Intervention, desto größer der Abstand zum verzögerten Nachtest“ (Theyßen, 2014, S. 71). Die qualitativen Daten wurden mit Kurzinterviews nach dem Follow-up-Test erhoben (Abbildung 13).

Mit der Mixed-Methods-Forschung wollten verschiedene Methoden (*additional coverage*) abgedeckt werden, um „eine erweiterte Sichtweise auf das untersuchte Problem zu erhalten und zusätzliches, vertiefendes Wissen zu generieren“ (Kuckartz, 2014, S. 69). Durch die Kombination der quantitativen und qualitativen Daten wurde der Forschungsgegenstand Fehler als Aspekte von NOS aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Durch die Fragebögen ließen sich die Einstellungen der Schüler*innen zu Fehlern und das Verständnis von NOS separat erfassen und durch verschiedene quantitative Auswertungsverfahren konnten Zusammenhänge berechnet werden. In den anschließenden Interviews wurden die Fehler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess konkret thematisiert und genauer beleuchtet. Dies führt dazu, dass die statistischen Zusammenhänge besser verstanden werden und Fehler als Aspekte von NOS besser kontextualisiert werden (Edmonds & Kennedy, 2017; Kuckartz, 2014). Der Fokus in diesem Mixed-Methods-Design lag folglich auf der Komplementarität, dem besseren Verständnis der Ergebnisse der quantitativen Studie durch die Ergebnisse der qualitativen Studie (Kuckartz, 2014).

Beim gewählten Mixed-Methods-Design handelt es sich um ein paralleles Design und nicht, wie aufgrund der Abbildung 13 erwartet werden könnte, um ein sequenzielles. Die Interviews wurden nach der quantitativen Erhebung durchgeführt (t_4), aber die quantitativen Daten wurden nicht zur Erstellung der Interviews genutzt. Der Zeitpunkt t_4 für die Interviews wurde gewählt, um mögliche Unterschiede zwischen Schüler*innen der Interventionsgruppen und Schüler*innen der Kontrollgruppen zu analysieren. Nach Edmonds und Kennedy (2017) ist eine gestaffelte Datenerhebung im parallelen Design zulässig. Die quantitative Teilstudie besaß in dieser Studie Priorität (QUANT + qual). Die quantitativen und die qualitativen Daten wurden separat ausgewertet, diskutiert und in der Schlussfolgerung auf einer Metaebene integriert (Kuckartz, 2014). Hervorgehoben werden Ergebnisse, die durch eine Methode allein nicht erzielt worden wären.

4.2.1 Anpassung des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* für die Interventionsstudie

Bei der Interventionsstudie handelte es sich um eine einmalig durchgeführte Intervention im Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit vier sich wiederholenden Interventionsphasen. Zwischen den Interventionsphasen gab es Phasen ohne Intervention. Die Dauer der vier Interventionsphasen betrug insgesamt 60–80 Minuten (15–20 Minuten pro Interventionsphase). Die Interventionsphasen waren intensiv. Für die Interventionsstudie wurden eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe gebildet. Bei der Kontrollgruppe wurde der reguläre Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* ohne Betonung auf den Umgang mit Fehlern durchgeführt. Bei der Interventionsgruppe beschäftigten sich die Schüler*innen während der vier Interventionsphasen vertieft mit Fehlern. Dabei wurden zudem Fehler von Wissenschaftlern¹³ und deren Einstellungen zu Fehlern in Videos betrachtet. In diesem Kontext wurden auch NOS-Aspekte aufgezeigt.

¹³ Im Kontext der Intervention wird bewusst nur die männliche Form „Naturwissenschaftler“ verwendet, da es sich bei den gewählten vier Beispielen um Männer handelt.

Der Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* eignete sich für eine Intervention zum Umgang mit Fehlern aus unterschiedlichen Gründen besonders gut. Einerseits handelt es sich beim visuellen Programmieren um einen neuen Unterrichtsinhalt, bei dem die Schüler*innen unweigerlich viele Fehler machen. Andererseits werden Fehler sofort sichtbar. Bei einem Fehler funktioniert das technische Gerät, in diesem Fall der *micro:bit*, nicht oder es führt nicht die gewünschte Handlung aus. Die Schüler*innen müssen unter diesen Umständen ihre Lösungen nicht zuerst mit einer Musterlösung vergleichen. Des Weiteren haben digital-basierte Lernumgebungen den Vorteil, dass Lernmethoden wie die Trail-and-Error-Methode angewendet werden kann, die in Fächern wie Physik oder Chemie nur unter Bedacht zum Einsatz kommen sollten (Althof, 1999; Schmid et al., 2022). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass digital-basierte Lernumgebungen geeignete Rahmenbedingungen bieten, um eine positive Fehlerkultur zu leben und Fehler als Lernchance zu sehen.

Um einen konstruktiven Umgang mit Fehlern im Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* zu fördern, wurde für die Interventionsgruppe die 3-Schritte-Methode von Oser et al. (1999) übernommen (vgl. auch Kapitel 2.6.2) und erweitert. Diese Methode setzt sich aus den folgenden Schritten zusammen (Oser et al., 1999):

1. Fehler erkennen
2. Fehler verstehen
3. Fehler verbessern

Im ersten Schritt geht es darum, dass die Schüler*innen ihre Fehler erkennen (Was?). Damit geht einher, dass sie bei Fehlern in digital-basierten Lernprozessen auch den Moment des Fehlers identifizieren können (Wo?). Im zweiten Schritt geht es darum, den Fehler zu verstehen. Dazu müssen sie die Fehlerursache klären (Warum?). Als letzten und wichtigen Schritt müssen die Schüler*innen den Fehler verbessern (Oser et al., 1999).

Das Betrachten von Geschichten über das Falsche oder das Fehlermachen wird in der erziehungswissenschaftlichen Literatur als wirkungs-

voll beschrieben, um Fehler als konstruktive Lerngelegenheit zu sehen. So kann aus Biografien verschiedener Personen gelernt werden, dass der Fehler, das Falsche oder das Nichtgelungene genauso bedeutend sein können wie das Richtige oder das Gelungene (Oser et al., 1999). Auch in der Naturwissenschaftsdidaktik werden Geschichten über das Lernen aus Fehlern als bedeutend für das Verständnis des Prozesses der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beschrieben (z. B. Allchin, 2012; McComas, 2008). Aus diesen Gründen wurde zwischen Schritt 2 und 3 Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern betrachten. Daraus ergibt sich folgende 4-Schritte-Methode (orientiert an Oser et al. 1999):

1. Fehler erkennen
2. Fehler verstehen
3. Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern betrachten
4. Fehler verbessern

Um im neu hinzugefügten Schritt 3 Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern betrachten zu können, wurde nach unterschiedlichen Fehlern von Naturwissenschaftler*innen gesucht und die Fallbeispiele so aufgearbeitet, dass unterschiedliche NOS-Aspekte darin vorkommen. Nachfolgend werden die gewählten NOS-Aspekte *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* (*Arbeitsweisen – NOS_Met_A, Ergebnisse – NOS_Met_E*), *Wissen ist vorläufig, aber beständig* (NOS_W), *Fehlermachen beim Experimentieren* (NOS_Exp), *Subjektivität* (NOS_Subj_K) und *kulturelle Elemente der Wissenschaft* (NOS_Kult_W), deren Items und die Zuweisungen zu den Wissenschaftlern (Elon Musk, Thomas Alva Edison, Albert Einstein und Andrew Lyne) dargestellt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Übersicht Zuordnung von NOS-Aspekten in Bezug auf Deng et al. (2014), Harrison et al. (2015), Kremer (2010) & Shaakumeni und Csapó (2019) zu Fallbeispielen der Wissenschaftler Elon Musk, Thomas Alva Edison, Albert Einstein und Andrew Lyne

NOS-Aspekt	Wissenschaftler	Abkürzung Code	Item
<i>Wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden: Arbeitsweisen</i>	Alle: Durch das Aufzeigen der vier Fallbeispiele soll übergreifend aufgezeigt werden, dass es in den Wissenschaften unterschiedliche Arbeitsweisen gibt.	<i>NOS_Met_A_01</i>	Alle Wissenschaftler*innen arbeiten auf die gleiche Weise (adaptiert von Harrison et al., 2015).
		<i>NOS_Met_A_02</i>	Alle Wissenschaftler*innen nutzen die gleichen Arbeitsweisen (adaptiert von Harrison et al., 2015).
		<i>NOS_Met_A_03</i>	Wissenschaftler*innen haben alle die gleichen Vorgehensweisen (adaptiert von Harrison et al., 2015).
<i>Wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden: Ergebnisse</i>	Alle: Durch das Aufzeigen der vier Fallbeispiele soll übergreifend aufgezeigt werden, dass es in den Wissenschaften nicht immer nur eine Lösung gibt. Besonderer Fokus im Fallbeispiel von Andrew Lyne	<i>NOS_Met_E_01</i>	Wissenschaftler*innen erhalten immer die gleichen Ergebnisse (adaptiert von Harrison et al., 2015).
		<i>NOS_Met_E_02</i>	Alle Fragen in den Wissenschaften haben genau eine Lösung (adaptiert von Harrison et al., 2015).
		<i>NOS_Met_E_03</i>	Wissenschaftliche Probleme haben nur eine richtige Antwort (adaptiert von Harrison et al., 2015).
<i>Wissen ist vorläufig, aber beständig</i>	Aspekt im Fallbeispiel von Albert Einstein, Elon Musk und Andrew Lyne	<i>NOS_W_01</i>	Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen immer wieder angepasst werden (adaptiert von Harrison et al., 2015).
		<i>NOS_W_02</i>	Einige wissenschaftliche Erkenntnisse von heute waren in der Vergangenheit anders (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019).
		<i>NOS_W_03</i>	Wissenschaftliche Erkenntnisse können sich durch den technologischen Fortschritt ändern (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019).

NOS-Aspekt	Wissenschaftler	Abkürzung Code	Item
<i>Fehler in Experimenten</i>	Aspekt im Fallbeispiel von Thomas Alva Edison und Elon Musk	<i>NOS_Exp_01</i>	Fehler in Experimenten helfen Wissenschaftler*innen, Lösungen zu finden (adaptiert von Kremer, 2010).
		<i>NOS_Exp_02</i>	Aus fehlerhaften Experimenten lernen Wissenschaftler*innen (adaptiert von Kremer, 2010).
		<i>NOS_Exp_03</i>	Durch Fehler in Experimenten finden Wissenschaftler*innen andere Lösungswege (adaptiert von Kremer, 2010).
<i>Kreativität als Merkmal der Subjektivität</i>	Aspekt im Fallbeispiel von Thomas Alva Edison und Elon Musk	<i>NOS_Subj_K_01</i>	Wissenschaftler*innen nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019).
		<i>NOS_Subj_K_02</i>	Das wissenschaftliche Wissen entsteht dank der Kreativität von Wissenschaftler*innen (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019).
		<i>NOS_Subj_K_03</i>	Wissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019).
<i>Kulturelle Elemente der Wissenschaft</i>	Aspekt im Fallbeispiel von Elon Musk und Albert Einstein	<i>NOS_Kult_W_01</i>	Die Wirtschaft beeinflusst, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen (adaptiert von Deng et al., 2014).
		<i>NOS_Kult_W_02</i>	Die Firmen bestimmen, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen (adaptiert von Deng et al., 2014).
		<i>NOS_Kult_W_03</i>	Die Wissenschaftler*innen können nur forschen, wenn sie Geld aus der Wirtschaft erhalten (adaptiert von Deng et al., 2014).

Als erster Wissenschaftler wurde Elon Musk gewählt, der eine negative Einstellung zu Fehlern hat. Er gibt Fehler nicht gern zu und akzeptiert diese auch nicht. Dennoch macht auch er Fehler, sowohl bei der Produktion von Tesla-Fahrzeugen als auch bei der Herstellung der Raketen von SpaceX (z. B. Vance, 2019). In diesem Fallbeispiel wurden die NOS-Aspekte *Wissen ist vorläufig, aber beständig*, *Fehler in Experimenten*, *Kreativität als Merkmal der Subjektivität* und *kulturelle Elemente der Wissenschaft* eingearbeitet.

Des Weiteren wurde Thomas Alva Edison gewählt, der in seinen Forschungen viele Fehler machte und oft nach der Methode Versuch und Irrtum arbeitete. Dennoch sagte er nie, dass er gescheitert sei. Einer seiner bekanntesten Zitate lautet: „Ich bin nicht gescheitert [...], ich habe nur 10.000 Wege gefunden, die nicht funktionierten“ (J.-U. Meyer, 2011, S. 42–43). Sein Erfolgsrezept bestand aus Ausprobieren und Testen. Bei all seinen Forschungen stand das Prinzip „*Aus Fehlern lernt man*“ im Vordergrund (J.-U. Meyer, 2011). Im Fallbeispiel von Thomas Alva Edison wurden vor allem die NOS-Aspekte *Fehler in Experimenten* und *Kreativität als Merkmal der Subjektivität* eingebaut.

Als dritter Naturwissenschaftler wurde Albert Einstein gewählt. Er arbeitete 20 Jahre an der Quantentheorie, aber ohne nennenswerte Erfolge (Pais, 1986). Er musste daher viel Ausdauer zeigen, die sich am Schluss lohnte. In diesem Beispiel wurden die NOS-Aspekte *Wissen ist vorläufig, aber beständig* und *kulturelle Elemente der Wissenschaft* in den Vordergrund gestellt.

Zuletzt wurden Andrew Lyne und seine Arbeitsgruppe mit ihrer Entdeckung des ersten Exoplaneten vorgestellt. Ihre neue Erkenntnis wollten sie auf einer Konferenz präsentieren, mussten jedoch kurz vorher feststellen, dass sie einen Fehler in den Berechnungen gemacht haben und folglich nicht den ersten Exoplaneten entdeckt hatten. Andrew Lyne und sein Team sagten ihren Vortrag aber nicht ab, sondern gaben ihren Fehler auf der Konferenz öffentlich zu. Dieses Verhalten wurde ihnen hoch anerkannt. Kurz nach der Bekanntgabe des Fehlers verkündete ein anderer Astronom, dass sie durch die Technik von der Arbeitsgruppe von Lyne zwei weitere Planeten entdeckt hätten, die nicht um die Sonne

kreisten. Trotz der falschen Berechnungen von Andrew Lyne und seiner Arbeitsgruppe war die Entdeckung also dennoch richtig (Livio, 2013). In diesem Fallbeispiel wurde der Fokus auf die NOS-Aspekte *Wissen ist vorläufig, aber veränderbar* und *Fehler in Experimenten* gelegt.

Mit dem Aufzeigen der vier Fallbeispiele sollte im Workshop zudem übergreifend aufgezeigt werden, dass es in den Naturwissenschaften unterschiedliche Arbeitsweisen und nicht immer nur eine Lösung gibt.

Die 4-Schritte-Methode wurde über den Workshoptag viermal eingesetzt. Nachfolgend wird zunächst erläutert, wie diese Methode im Workshop eingesetzt wurde, und weiter, in welchen Momenten des Workshops diese eingesetzt wurde.

1. Fehler erkennen

Um im ersten Schritt die Fehler zu erkennen, mussten die Schüler*innen analysieren, wo, also in welchem Moment oder an welcher Stelle der Fehler passierte. In diesem ersten Schritt, in dem es lediglich um das Finden des Fehlers ging, konnten sie sich mit ihren Mitschüler*innen austauschen.

2. Fehler verstehen

Im zweiten Schritt sollten sie verstehen und erklären können, warum der Fehler erfolgte. Dazu wurden den Schüler*innen zu Beginn des Workshops die drei Fehlertypen Materialfehler, Beobachtungsfehler und Programmierfehler (Kap. 2.4) präsentiert. Durch das Identifizieren des Fehlertyps konnten die Schüler*innen auf die Ursache des Fehlers schließen und das Warum beantworten. Bevor sie ihre eigenen Fehler analysierten, wurde jeweils ein Beispiel gemeinsam in der Klasse gelöst. Dazu wurden die Fragestellung der Aufgabe und ein programmierter Code eingeblendet und in einem Video ein Fehler gezeigt. Der Fehlertyp aus dem Video wurde in der Klasse analysiert und besprochen.

3. Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern betrachten

Bevor die Schüler*innen dann ihre eigenen Fehlertypen analysierten und verbesserten, wurden ihnen im dritten Schritt in Videos Naturwissenschaftler vorgestellt, die selbst Fehler machten. Gewählt wurden Naturwissenschaftler, die durch ihre unterschiedlichen Einstellungen zu Fehlern die Spannweite beim Umgang mit Fehlern zeigten. Außerdem wurde darauf geachtet, dass die Einstellung der Wissenschaftler zu Fehlern zum Durchführungszeitpunkt und zu den vier Interventionsphasen passt.

4. Fehler verbessern

Im letzten Schritt wurde den Schüler*innen Zeit zur Verfügung gestellt, um ihre Fehler zu verbessern.

4.2.1.1 Einsatz der 4-Schritte-Methode

Wie oben beschrieben, wurde die 4-Schritte-Methode über den Tagesworkshop insgesamt viermal eingesetzt, zweimal am Vormittag und zweimal am Nachmittag. Das erste Mal wurde diese Methode nach der ersten Aufgabe eingesetzt, bei der es darum ging, LEDs zum Blinken zu bringen, um nachfolgend mit den LEDs per Licht zu morsen. Da die meisten Schüler*innen noch nicht oft oder noch nie mit *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* programmiert hatten, wurde angenommen, dass sie bei den ersten Aufgaben viele Fehler machen würden. Es wurde außerdem angenommen, dass einige Schüler*innen eine negative Einstellung zu Fehlern haben. Aus diesen Gründen wurde als erstes Elon Musk gewählt, der, wie oben beschrieben, eine negative Einstellung zu Fehlern hat.

Das zweite Mal wurde die 4-Schritte-Methode bei der Debugging-Aufgabe mit dem LED-Streifen eingesetzt. Hier mussten die Schüler*innen Fehler im Code finden und verbessern. Dabei arbeiteten sie wie Thomas Alva Edison nach der Methode Versuch und Irrtum. Sie nahmen Änderungen im Code vor, testeten die Änderung und analysierten

das Ergebnis. Dabei machten die Schüler*innen, wie auch Thomas Alva Edison, viele Fehler.

Am Nachmittag wurde die 4-Schritte-Methode ein drittes Mal beim Programmieren von Flaggen für das Smart Shirt eingesetzt. Da die Schüler*innen mehrheitlich müde vom Mittagessen waren und das Programmieren von Flaggen eine weitere Herausforderung darstellte, mussten die Schüler*innen an dieser Stelle Ausdauer zeigen. Als Beispiel wurde Albert Einstein gewählt, da er bei seiner Arbeit an der Quantentheorie viel Ausdauer zeigen musste, denn er hatte 20 Jahre keine nennenswerten Erfolge. Jedoch lohnte sich seine Ausdauer, wie bei den Schüler*innen, am Schluss.

Das vierte Mal wurde die 4-Schritte-Methode beim Programmieren des Wetteranzeigers eingesetzt. Gegen Ende des Workshops wurde den Schüler*innen durch das Beispiel von Andrew Lyne und seinem Team eine offene und ehrliche Haltung gegenüber Fehlern, die belohnt wurde, vorgestellt.

4.2.2 Einflussfaktoren auf die Intervention und deren Wirkung

Neben dem Aufbau der Intervention haben die Interventionsdauer, die Interventionsintensität, der Neuigkeitseffekt und die Interventionsleitungen einen Einfluss auf die Intervention und deren Wirkung (Theyßen, 2014). Wie im Kapitel 4.2.1 beschrieben, handelte es sich um eine einmalig durchgeführte Interventionsstudie im Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit vier sich wiederholenden Interventionsphasen. Zwischen den Interventionsphasen gab es Phasen ohne Intervention. Die Dauer der vier Interventionsphasen betrug insgesamt 60–80 Minuten (15–20 Minuten pro Interventionsphase). Die Interventionsphasen waren intensiv. Da der Neuigkeitseffekt für die Schüler*innen sowohl durch das Schüler*innenlabor *Smartfeld* als auch durch den Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* bereits groß war, wurde der Neuigkeitseffekt durch die Intervention nicht mehr allzu groß eingeschätzt und sollte daher für die Interventionsgruppe vernachlässigbar sein.

Die Interventionsleitungen haben unterschiedliche Persönlichkeitsmerkmale und Einstellungen, in diesem Fall zum Umgang mit Fehlern im Unterricht (Theyßen, 2014). Nach Theyßen (2014) haben alle Formen der Leitungen, z. B. durch die Lehrperson selbst, durch die Studienverantwortlichen, durch eine Drittperson oder durch mehrere Drittpersonen, Vor- und Nachteile. Daher wurden für diese Studie die einzelnen Möglichkeiten der Interventionsleitung diskutiert und gegeneinander abgewogen. Die Leitung durch die Lehrpersonen der Klassen wurde ausgeschlossen, da die Intervention an einem außerschulischen Lernort stattfand. Die Leitung durch die Verfasserin der vorliegenden Studien wurde ausgeschlossen, da die Befangenheit zu groß gewesen wäre. Die Leitung durch eine dritte Person wurde ausgeschlossen, da die Fehleranfälligkeit durch Verwechslungen in den Kontroll- und Interventionsgruppen minimiert werden sollte. Aus diesen Gründen wurden zwei unterschiedliche Kursleitungen gewählt, die speziell für die Kontroll- als auch für die Interventionsgruppe ausgebildet wurden. Es muss angemerkt werden, durch die Persönlichkeitsmerkmale und die Einstellungen der Kursleitungen zum Umgang mit Fehlern einen Einfluss auf die Studie hatten.

Für die Kontrollgruppe wurde ein Kursleiter gewählt, der im *Smartfeld* bereits einige Kurse mit Schwerpunkt Einstieg in die Programmierung geleitet hatte. Für die Interventionsgruppe wurde ein neuer Kursleiter eingestellt, der selbst Lehrer an einer der Sekundarstufe I ist und privat sehr viel programmiert. Beide Kursleiter erhielten eine inhaltliche Ausbildung zum Kurs *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* und eine Ausbildung zum generellen Umgang mit Fehlern. Als Grundlage dafür wurde ein Leitfaden für die beiden Workshopleitungen und die studentischen Hilfskräfte zum Umgang mit Fehlern erstellt. Der Kursleiter für die Interventionsgruppe wurde zusätzlich in die Intervention eingeführt.

Der Workshopleiter, der speziell für die Interventionsgruppe ausgebildet wurde, führte die Workshops montags und dienstags durch. Der Workshopleiter, der speziell für die Kontrollgruppe ausgebildet wurde, leitete die Workshops donnerstags und freitags. Am Mittwoch

wurden keine Kurse angeboten, da in der Schweiz alle Schüler*innen der Sekundarstufe I am Mittwochnachmittag unterrichtsfrei haben. Da jeweils ganze Klassen je nach Anmeldetag einer der beiden Gruppen zugeteilt wurden, erfolgte die Zuteilung zu Kontroll- und Interventionsgruppe quasiexperimentell (Theyssen, 2014).

4.2.3 Zusammenfassung Interventionsstudie

Zur Beantwortung der Forschungsfragen 3, 4, 5 und 6.2 wurde eine Interventionsstudie im *Smartfeld*-Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt. Während die Kontrollgruppe den regulären Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* besuchte, wurde bei der Interventionsgruppe der Fokus auf den Umgang mit Fehlern unter Berücksichtigung von einigen NOS-Aspekten gelegt. Konkret wurden bei der Interventionsgruppe die drei Fehlertypen Materialfehler, Beobachtungsfehler und Programmierfehler angesehen und anschließend viermal über den Tag verteilt eine von Oser et al. (1999) adaptierte und erweiterte 4-Schritte-Methode angewendet, konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. In Abbildung 14 ist der Ablauf der Interventionsstudie grafisch dargestellt.

4.3 Datenerhebung – Mixed-Methods

4.3.1 Fragebogen

Mit kurzen Fragebögen von je 10–15 Minuten zu drei Messzeitpunkten direkt vor (Pretest), direkt nach (Posttest) und zwei Monate nach dem Besuch (Follow-up-Test) des *Smartfeld*-Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* wurden personenbezogene Angaben, Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren, die Computerkompetenz, Computernutzung in der Freizeit, Selbstwirksamkeit beim visuellen Programmieren mit dem *micro:bit*, die intrinsische Motivation beim visuellen Programmieren mit dem *micro:bit*, die Fehlerlernorientierung, die Fehlerangst, die affektiv-motivationale Adaptivität von Reaktio-

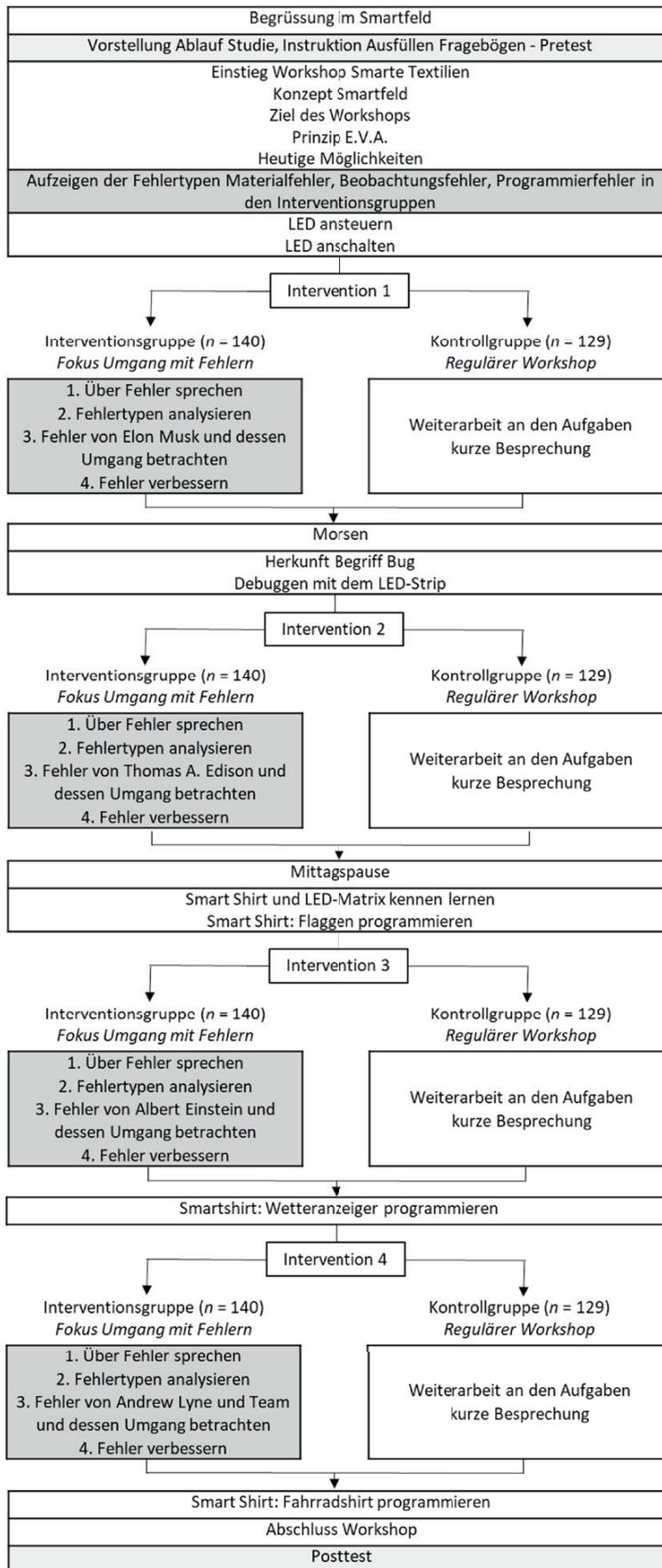


Abbildung 14: Ablauf Interventionsstudie

nen auf Fehler und Aspekte von NOS erfasst. Teile der Vorstellungen zum visuellen Programmieren, die Computerkompetenz und die Computernutzung in der Freizeit wurden nur im Pretest erhoben. Im Posttest und Follow-up-Test wurden zusätzlich positive Affekte im *Smartfeld*, konkret Spaß und Flow sowie die Relevanz der Inhalte des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* erfasst. Die oben genannten Skalen stammten größtenteils aus bereits validierten Instrumenten.

Im Fragebogen wurden zuerst die personenbezogenen Angaben erfasst. Anschließend wurden die Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren mit einer sechsstufigen Likert-Skala mit 1 = nie, 2 = selten, 3 = manchmal, 4 = eher oft, 5 = oft, 6 = sehr oft erhoben.

Die einzelnen Items der anderen Skalen wurden zufällig durchmischt. Für diese Items wurde auch eine sechsstufige Skala gewählt, jedoch mit 1 = stimmt überhaupt nicht, 2 = stimmt größtenteils nicht, 3 = stimmt eher nicht, 4 = stimmt eher, 5 = stimmt größtenteils und 6 = stimmt völlig. Die mit dem Umfragetool *Artologik* erstellten Fragebögen wurden von den Schüler*innen am Computer ausgefüllt. Da die Schüler*innen im Workshop an zur Verfügung gestellten Computern arbeiteten, wurden die Zugangslinks auf den Computern abgelegt. Der Link mit dem Zugang zum Follow-up-Test wurde den Lehrpersonen per E-Mail zugestellt.

Bevor die Schüler*innen mit dem Pretest starteten, wurden zu Beginn Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens durch den Workshopleiter mündlich mitgeteilt. Anschließend wurde den Schüler*innen noch die Möglichkeit geboten, Fragen zum Ablauf zu stellen. Da die Fragebögen sowohl beim Pre- als auch beim Posttest vor Ort im Workshop ausgefüllt wurden, konnte kontrolliert werden, dass die Fragebögen von den Schüler*innen allein, also ohne Austausch mit Mitschüler*innen und ohne Hilfestellungen durch die Workshopleitung oder Lehrperson, ausgefüllt wurden. In den nachfolgenden Abschnitten werden die ausgewählten Skalen beschrieben und die definitiven Items dargestellt. Die Pilotierung der Fragebögen und die damit verbundenen Analysen und Anpassungen sind im Kapitel 5.3 beschrieben. Die an der Haupterhebung eingesetzten Fragebögen (Pretests sowie Posttest/Follow-up-Test) mit den durchmischten Items sind im Anhang zu finden.

4.3.1.1 Personenbezogene Angaben

Zu Beginn des Fragebogens wurde ein personenbezogener Code abgefragt, um die Fragebögen zu den drei Zeitpunkten miteinander zu vergleichen und Rückschlüsse aus den Interviews zu ziehen. Der Code setzte sich aus den ersten zwei Buchstaben des Vornamens der Mutter und den ersten zwei Zahlen des Geburtstags der Schüler*innen zusammen. Da die Lehrpersonen bei der Anmeldung unter anderem die Klassenstufe angaben, wurden die Schüler*innen im Fragebogen nur noch nach dem Alter und dem Geschlecht befragt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Definitive Items *personenbezogene Angaben*

Code	Item
Code	Bitte gib die ersten zwei Buchstaben des Vornamens deiner Mutter ein. Bitte gib die ersten zwei Zahlen deines Geburtstags ein.
Geschlecht	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich
Alter	Wie alt bist du?

4.3.1.2 Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren

Zuerst wurden die Vorstellungen der Schüler*innen zum visuellen Programmieren erfasst. Dabei sollten sie, angelehnt an Güdel (2014), einem Besucher oder einer Besucherin aus dem Weltraum erklären, was sie unter visuellem Programmieren verstehen. Anschließend wurden sie befragt, wie oft sie in der Schule und in der Freizeit bereits mit *Scratch*, *Blockly*, *micro:bit*, *mBot* oder anderen visuellen Programmiersprachen und wie oft sie ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert haben. Da angenommen werden musste, dass die Schüler*innen eventuell noch nie mit dem *micro:bit* programmiert hatten und sich die Items der Selbstwirksamkeitserwartung und intrinsischen Motivation spezifisch auf das visuelle Programmieren mit dem *micro:bit* bezogen, wurde angelehnt an Güdel (2014) eine Erklärung zum visuel-

len und textbasierten Programmieren gegeben und der *micro:bit* vorgestellt. So konnten auch Schüler*innen, die noch nie mit dem *micro:bit* gearbeitet hatten, die Fragen beantworten (Tabelle 6).

Tabelle 6: Definitive Items *Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren*, tw. adaptiert von Güdel (2014, S. 327–328)

Code	Item
VOR_VP_01	Stell dir vor, dass dich jemand aus dem Weltraum besucht. Dieser Besucher, diese Besucherin hat das Wort „visuelles Programmieren“ noch nie gehört. Wie erklärst du ihm/ihr das? (Wenn du eine Idee hast, dann schreibe hier deine Erklärung in maximal drei Sätzen auf.)
VOR_VP_02	Wie oft hast du in der Schule mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?
VOR_VP_03	Wie oft hast du in der Freizeit mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?
VOR_VP_04	Wie oft hast du in der Schule ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?
VOR_VP_05	Wie oft hast du in der Freizeit ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?
VOR_VP_06	<p>Es gibt auch andere Möglichkeiten, „visuelles Programmieren“ zu erklären.</p> <p>Beim visuellen Programmieren wird ein Code mit grafischen Elementen erstellt. Das sind beispielsweise farbige Blöcke. Diese Blöcke werden passend aneinandergehängt.</p> <p>Zum Beispiel:</p>  <p>Quelle: „micro:bit web“ by Tatsuo Yamashita is licensed under CC BY 2.0.</p>
VOR_VP_07	<p>Man kann auch textbasiert programmieren.</p> <p>Zum Beispiel:</p> <pre> 1 for (let index = 0; index < 5; index++) { 2 pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 1) 3 basic.pause(500) 4 pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 0) 5 basic.pause(500) 6 } 7 basic.forever(function () { 8 9 }) </pre>

Code	Item
VOR_VP_08	<p>Der micro:bit ist ein Beispiel eines kleinen programmierbaren Computers.</p>  <p>Quelle: „micro:bit Board“ by SparkFunElectronics is licensed under CC BY 2.0.</p>

4.3.1.3 Computerkompetenz

Um die Computerkompetenz der Schüler*innen zu erfassen, wurde die Skala *Computerkompetenz* von Karapanos und Fendler (2015) angepasst. Ein Item wurde nach der ersten Pilotierung ausgeschlossen. Das Item zur Computernutzung in der Freizeit wurde bereits zu Beginn herausgenommen und damit eine neue Skala zur *Computernutzung in der Freizeit* erstellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Definitive Items *Computerkompetenz*, adaptiert von Karapanos und Fendler (2015, S. 44)

Code	Item
Com_KOMP_01	Ich kann gut mit Computern arbeiten.
Com_KOMP_02	Ich fühle mich sicher in Bezug auf meine Fähigkeiten, einen Computer zu nutzen.
Com_KOMP_03	Ich traue mir zu, dass ich mich in ein neues Computerprogramm selbst einarbeiten kann.
Com_KOMP_04	Ich fühle mich im Umgang mit Standardsoftware (Office-Anwendungen, Internet, E-Mail) sicher.
Com_KOMP_05	Ich fühle mich im Umgang mit komplexeren Anwendungen im Multimedia-Bereich (z. B. Zeichenprogramme, Programmiersprachen, Audio- und Videosoftware) sicher.

4.3.1.4 Computernutzung in der Freizeit

Das Item Com_NuF_01 wurde aus der Skala *Computerkompetenz* von Karapanos und Fendler (2015) herausgenommen und eine neue Skala zur Erhebung der *Computernutzung in der Freizeit* erstellt. Dazu wurden die beiden Items Com_NuF_02 und Com_NuF_02 frei formuliert (Tabelle 8).

Tabelle 8: Definitive Items *Computernutzung in der Freizeit*, adaptiert von Karapanos und Fendler (2015, S. 44)

Code	Item
Com_NuF_01	Ich beschäftige mich in meiner Freizeit viel mit Computern.
Com_NuF_02	Ich benutze den Computer in meiner Freizeit oft.
Com_NuF_03	In meiner Freizeit verbringe ich viel Zeit vor dem Computer.

4.3.1.5 Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit*

Zur Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit* wurde die Skala *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik nutzen* von Güdel (2014) angepasst. Güdel (2014) stützte sich bei der Erstellung der Skalen zur Erhebung der technikspezifischen Selbstwirksamkeitserwartung auf Bandura (1977), welcher die vier Aspekte „1. Meisterung von schwierigen Situationen; 2. Beobachtungen von Modellen; 3. Soziale Unterstützung; 4. Physiologische Reaktionen“ (Güdel, 2014, S. 317) als Einflüsse auf die Selbstwirksamkeitserwartung nennt. Güdel (2014) erstellte auf dieser Grundlage die vier Skalen *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik nutzen*, *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik verstehen und beurteilen*, *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik entwerfen und skizzieren* und *Selbstwirksamkeitserwartung im Werkunterreicht*. Für die vorliegende Studie wurde nur die Skala *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik nutzen* als Grundlage zur Formulierung eigener Items verwendet, da das Zutrauen zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit* erhoben werden sollte. Da der *micro:bit* mit *Microsoft MakeCode* für *micro:bit* sowohl visuell mit

Blöcken als auch textbasiert mit *JavaScript* programmiert werden kann, wurden für beide Programmierarten Items erstellt. Zumal beim Programmieren viele Fehler passieren, wurden auch dazu passende Items formuliert (Tabelle 9).

Tabelle 9: Definitive Items *Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit*, adaptiert von Güdel (2014, S. 317)

Code	Item
SWEspez_NU_01	Ich traue mir zu, visuell zu programmieren.
SWEspez_NU_02	Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.
SWEspez_NU_03	Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.
SWEspez_NU_04	Ich traue mir zu, eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.
SWEspez_NU_05	Ich traue mir zu, Fehler in einem Code zu finden.
SWEspez_NU_06	Ich traue mir, zu einen fehlerhaften Code zu verbessern.

4.3.1.6 Intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit*

Zur Erhebung der intrinsischen Motivation der Schüler*innen zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit* wurde die Subskala *Interest/Enjoyment* vom Centre for Self-Determination Theory (o.J.) angepasst und übersetzt. Es wurde nur die Subskala *Interest/Enjoyment* übernommen, da nach dem Centre for Self-Determination Theory (o.J.) diese Subskala die intrinsische Motivation an sich misst (Tabelle 10).

Tabelle 10: Definitive Items *intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit*, adaptiert von Centre for Self-Determination Theory (o.J., S. 3)

Code	Item
MOTint_01	Ich mag Programmieren sehr gerne.
MOTint_02	Programmieren macht mir Spaß.
MOTint_03	Ich finde Programmieren langweilig. (-)
MOTint_04	Programmieren interessiert mich überhaupt nicht. (-)
MOTint_05	Ich finde das Programmieren sehr interessant.
MOTint_06	Ich finde das Programmieren sehr unterhaltsam.

4.3.1.7 Fehlerlernorientierung und Fehlerangst

Spychiger et al. (2006) haben einen Schüler*innenfragebogen für die 4.–9. Klasse zur Messung der Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule entwickelt und in der Deutschschweiz erprobt. Mit dem Fragebogen können die vier Dimensionen *Fehlerlernorientierung* und *Fehlerangst* der Schüler*innen sowie die *Fehlerfreundlichkeit* und *Normtransparenz* der Lehrpersonen aus Schüler*innensicht erhoben werden. Der Fragebogen kombiniert zwei Dimensionen auf Seiten der Schüler*innen, nämlich die *Fehlerlernorientierung* und die *Fehlerangst* sowie zwei Dimensionen auf Seiten der Lehrpersonen, *Fehlerfreundlichkeit* und *Normtransparenz*. Grundlegend für die Untersuchung von Spychiger et al. (2006) war die Überzeugung, dass Schüler*innen aus Klassen mit einer positiven Fehlerkultur mehr aus Fehlern lernen können als Schüler*innen aus Klassen mit einer negativen Fehlerkultur. Darüber hinaus waren sie der Überzeugung, dass die Schüler*innen auf diese Weise Teile des persönlichen Selbst entwickeln (Spychiger et al., 2006).

Für die vorliegende Studie wurden die Skalen zum individuellen Umgang der Schüler*innen mit Fehlern, nämlich die *Fehlerlernorientierung* (Tabelle 11) und die *Fehlerangst* (Tabelle 12), von Spychiger et al. (2006) übernommen und angepasst. Die beiden Skalen zur Einschätzung der Schüler*innen zur *Fehlerfreundlichkeit* und *Normtransparenz* ihrer Lehrpersonen wurden für die Studie nicht übernommen. Da die Intervention im außerschulischen Lernort *Smartfeld* stattfand und nicht von der Lehrperson geleitet wurde, hätten diese Skalen beim Posttest nicht befragt werden und somit mit dem Pretest nicht verglichen werden können.

Tabelle 11: Definitive Items *Fehlerlernorientierung*, adaptiert von Spychiger et al. (2006, S. 97)

Code	Item
F_LO_01	Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.
F_LO_02	Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.
F_LO_03	Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.

Code	Item
F_LO_04	Falsche Lösungen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.
F_LO_05	Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.

Tabelle 12: Definitive Items *Fehlerangst*, adaptiert von Spychiger et al. (2006, S. 101)

Code	Item
F_An_01	Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.
F_An_02	Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.
F_An_03	Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.

4.3.1.8 Affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler

Um die Emotionen zu erheben, die Schüler*innen nach einem Fehler erleben, wurde die Skala *affektiv-motivationale Adaptivität* von Dresel et al. (2013) ausgewählt und für den Fragebogen angepasst. Dresel et al. (2013) entwickelten einen Fragebogen für Schüler*innen der 6. und 7. Klasse, mit dem sich zwei Arten von adaptiven Reaktionen auf Fehler im Mathematikunterricht erfassen lassen. Eine Skala befasst sich mit der affektiv-motivationalen Adaptivität und die andere Skala mit der Handlungsadaptivität. Die Skala zur *affektiv-motivationalen Anpassungsfähigkeit* kann verwendet werden, um den emotionalen Zustand der Schüler*innen nach einem Fehler zu erfassen. Dresel et al. (2013) konnten zeigen, dass die beiden Reaktionen, also die die affektiv-motivationalen adaptiven Reaktionen und die Handlungsadaptivität auf Fehler, voneinander unterschieden werden können. Sie konnten auch zeigen, dass beide Typen, die affektiv-motivationalen adaptiven Reaktionen und die Handlungsadaptivität, mit der Motivation in Beziehung stehen.

Für die vorliegende Studie wurde nur die Skala zur Messung der *affektiv-motivationalen Adaptivität* von Dresel et al. (2013) übernommen (Tabelle 13). Die Skala zur Messung der *Handlungsadaptivität* von Dresel et al. (2013) wurde nicht übernommen, da sie inhaltlich der Skala zur *Fehlerlernorientierung* von Spychiger et al. (2006) sehr gleicht. Die Skala

Fehlerlernorientierung von Spychiger et al. (2006) wurde der Skala *Handlungsadaptivität* von Dresel et al. (2013) vorgezogen, da die Skala *Fehlerlernorientierung* bereits in der Schweiz auf der entsprechenden Schulstufe getestet wurde. In der nachfolgenden Tabelle 13 sind die definitiven Items zu finden, welche bei der Interventionsstudie verwendet wurden.

Tabelle 13: Definitive Items *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*, adaptiert von Dresel et al. (2013, S. 260)

Code	Item
F_aff_mot_REA_01	Wenn ich etwas falsch mache, vermiest mir das die ganze Aufgabe. (-)
F_aff_mot_REA_02	Wenn ich etwas falsch mache, macht mir die Aufgabe trotzdem noch genauso viel Spaß.
F_aff_mot_REA_03	Wenn ich etwas nicht kann, habe ich in Zukunft trotzdem den gleichen Spaß an der Aufgabe.
F_aff_mot_REA_04	Wenn ich eine Aufgabe nicht lösen kann, habe ich beim nächsten Mal weniger Lust. (-)
F_aff_mot_REA_05	Wenn ich einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spaß an der Aufgabe. (-)
F_aff_mot_REA_06	Wenn ich etwas nicht kann, habe ich trotzdem Lust weiterzuarbeiten.

4.3.1.9 Nature of Science

Zur Auswahl der NOS-Skalen wurden 17 wissenschaftliche Artikel zu NOS-Instrumenten beschreiben, angesehen und verglichen. Diese 17 Artikel wurden im Jahr 2020 durch eine intensive Recherche zusammengetragen. Gewählt wurden Artikel, die frei im Internet verfügbar und in deutscher oder englischer Sprache verfasst wurden. In einem ersten Schritt wurden alle Artikel gelesen und nach (Schul-)Stufe (Primarschule, Sekundarstufe I, Sekundarstufe II, Studierende) und Form des Messinstruments (Fragebogen mit Likert-Skalen, Fragebogen mit Likert-Skalen und Multiple-Choice-Items, Fragebogen mit offenen Items, Fragebogen mit offenen Items und nachfolgenden Interviews, Interviews) kategorisiert. Für die vorliegende Studie waren Artikel, die einen Fragebogen mit Likert-Skalen oder einen Fragebogen mit Likert-Skalen

und Multiple-Choice-Items für die Primarschule, Sekundarstufe I oder Sekundarstufe II präsentierten und das vollständige Messinstrument angehängt haben, von Interesse. Diese drei Kriterien erfüllten die drei Artikel *Assessing South China (Guangzhou) High School Students' Views on Nature of Science: A Validation Study* von Deng et al. (2014), *Comparing Models of Nature of Science Dimensionality Based on the Next Generation Science Standards* von Harrison et al. (2015) und *Exploring the Factorial Validity of the Beliefs about Nature of Science Questionnaire* von Shaakumeni und Csapó (2019) sowie die Dissertation *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen – Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I* von Kremer (2010). Die Likert-Skalen dieser drei Fragebögen wurden miteinander verglichen. Nachfolgend werden diese Fragebögen kurz vorgestellt.

Deng et al. (2014) entwickelten einen Fragebogen mit sieben Subskalen, um die Ansichten der Schüler*innen der Sekundarstufe II über das Wesen der Naturwissenschaften (Views on Nature of Science, VNOS) zu erheben. Fünf dieser sieben Subskalen adaptierten Deng et al. (2014) von bestehenden Instrumenten. Zwei Subskalen wurden auf Grundlage von zwei Studien entwickelt. Deng et al. (2014) wählten die Subskalen akkumulativ-empirische Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis (AE), veränderlich-tentativer Charakter wissenschaftlicher Erkenntnis (CT), sozial-kulturell eingebetteter Charakter wissenschaftlicher Erkenntnis (SC), pragmatische Rechtfertigung wissenschaftlicher Erkenntnis (PJ), empirische Rechtfertigung wissenschaftlicher Erkenntnis (EJ), konstruktiv-innovative Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis (CI) und subjektiver Charakter wissenschaftlicher Erkenntnis (SU). Deng et al. (2014) testeten diesen Fragebogen mit $N = 604$ Schüler*innen der Sekundarstufe II aus Südchina. Sie wiesen eine zufriedenstellende Reliabilität und Validität des Instrumentes nach. Dies zeigt, dass dieses Instrument gut eingesetzt werden kann, um die Ansichten der Schüler*innen der Sekundarstufe II, insbesondere von Schüler*innen der Sekundarstufe II aus Südchina, über das Wesen der Naturwissenschaften zu erheben. Da der Fragebogen auf der Sekundarstufe I in der Schweiz zum Einsatz kam, mussten die Skalen überarbeitet und vereinfacht werden.

Harrison et al. (2015) entwickelten auf Grundlage der in den NGSS (Next Generation Science Standards) beschriebenen NOS-Dimension einen Fragebogen für Schüler*innen der Sekundarstufe I. Der Fragebogen umfasste die acht Themen im Zusammenhang mit den NGSS und NOS: wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden, wissenschaftliche Erkenntnisse beruhen auf empirischen Beweisen, wissenschaftliches Wissen ist offen für Revisionen im Lichte neuer Erkenntnisse, wissenschaftliche Modelle, Gesetze, Mechanismen und Theorien erklären natürliche Phänomene, Wissenschaft ist eine Art des Wissens, wissenschaftliches Wissen setzt eine Ordnung und Konsistenz in natürlichen Systemen voraus, Wissenschaft ist ein menschliches Unterfangen und die Wissenschaft befasst sich mit Fragen über die natürliche und materielle Welt. Fünf dieser acht NOS-Themen wurden gemischt mit Multiple-Choice-Items und Likert-Skalen Items erhoben und drei nur mit Multiple-Choice-Items. Insgesamt enthielt der Fragebogen 24 Multiple-Choice Items und 10 Likert-Skalen Items.

Shaakumeni und Csapó (2019) entwickelten und testeten einen Fragebogen mit Likert-Skalen, um die Überzeugungen der Schüler*innen der Sekundarstufe II über das Wesen der Naturwissenschaften (Beliefs About Nature Of Science, BANOS) zu erheben. Sie begründeten die Neuentwicklung eines Fragebogens damit, dass bestehende Fragebögen Limitationen in Bezug auf die psychometrische Gültigkeit aufweisen. Der BANOS-Fragebogen enthält die fünf Subskalen Subjektivität, empirisch, soziokulturell, wissenschaftliche Methoden und Vorläufigkeit. Dieser Fragebogen wurde mit $N = 860$ Schüler*innen der Sekundarstufe II in Namibia getestet. Der BANOS-Fragebogen wies eine angemessene Konstruktvalidität und Reliabilität auf. Eine konfirmatorische Faktorenanalyse zeigte aber einige schlechte fit-Werte auf.

Kremer (2010) entwickelte im Rahmen ihrer Dissertation einen Fragebogen zum Verständnis der Natur der Naturwissenschaften von Schüler*innen der Sekundarstufe I. Ihr Ziel war es, einen Fragebogen zu entwickeln, der möglichst viele Dimensionen von NOS abbildet. Sie konnte einen Fragebogen mit den sieben Dimensionen „Herkunft, Sicherheit, Entwicklung, Rechtfertigung und Einfachheit des natur-

wissenschaftlichen Wissens sowie der Zweck der Naturwissenschaften und die Kreativität von Naturwissenschaftlern“ (Kremer, 2010, S. 116) entwerfen und mit $N = 272$ Schüler*innen der Sekundarstufe I testen. Die Skalen wiesen nur teilweise zufriedenstellende Cronbachs Alpha Werte auf.

Auf Grundlage dieser vier Fragebögen wurden in dieser Dissertation sechs Skalen erstellt, die die Aspekte *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* (einmal mit einem Schwerpunkt auf die *Arbeitsweisen* (Tabelle 14) und einmal mit einem Schwerpunkt auf die *Ergebnisse* (Tabelle 15), *wissenschaftliches Wissen ist vorläufig, aber beständig* (Tabelle 16), *Bedeutung des Fehlermachens beim Experimentieren* (Tabelle 17), *Subjektivität mit einem Schwerpunkt auf die Kreativität* (Tabelle 18) und *Einfluss von kulturellen Elementen auf die Wissenschaft* (Tabelle 19) erfassen. Das Ziel der Studie war es, möglichst viele NOS-Aspekte mit dem Fragebogen zu erfassen.

Tabelle 14: Definitive Items Skala *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* (NOS_Met_A), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342)

Code	Item
NOS_Met_A_01	Alle Wissenschaftler*innen arbeiten auf die gleiche Weise.
NOS_Met_A_02	Alle Wissenschaftler*innen nutzen die gleichen Arbeitsweisen.
NOS_Met_A_03	Wissenschaftler*innen haben alle die gleichen Vorgehensweisen.

Tabelle 15: Definitive Items Skala *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* (NOS_Met_E), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342)

Code	Item
NOS_Met_E_01	Wissenschaftler*innen erhalten immer die gleichen Ergebnisse.
NOS_Met_E_02	Alle Fragen in den Wissenschaften haben genau eine Lösung.
NOS_Met_E_03	Wissenschaftliche Probleme haben nur eine richtige Antwort.

Tabelle 16: Definitive Items Skala *Wissen ist vorläufig, aber beständig* (NOS_W), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)

Code	Item
NOS_W_01	Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen immer wieder angepasst werden.
NOS_W_02	Einige wissenschaftliche Erkenntnisse von heute waren in der Vergangenheit anders.
NOS_W_03	Wissenschaftliche Erkenntnisse können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.

Tabelle 17: Definitive Items Skala *Fehlermachen beim Experimentieren* (NOS_Exp), adaptiert von Kremer (2010, S. 162)

Code	Item
NOS_Exp_01	Fehler in Experimenten helfen Wissenschaftler*innen, Lösungen zu finden.
NOS_Exp_02	Aus fehlerhaften Experimenten lernen Wissenschaftler*innen.
NOS_Exp_03	Durch Fehler in Experimenten finden Wissenschaftler*innen andere Lösungswege.

Tabelle 18: Definitive Items Skala *Subjektivität* (NOS_Subj_K), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)

Code	Item
NOS_Subj_K_01	Wissenschaftler*innen nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.
NOS_Subj_K_02	Das wissenschaftliche Wissen entsteht dank der Kreativität von Wissenschaftler*innen.
NOS_Subj_K_03	Wissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität.

Tabelle 19: Definitive Items Skala *Kulturelle Elemente der Wissenschaft* (NOS_Kult_W), adaptiert von Deng et al. (2014, S. 850)

Code	Item
NOS_Kult_W_01	Die Wirtschaft beeinflusst, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.
NOS_Kult_W_02	Die Firmen bestimmen, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.
NOS_Kult_W_03	Die Wissenschaftler*innen können nur forschen, wenn sie Geld aus der Wirtschaft erhalten.

4.3.1.10 Positive Affekte im *Smartfeld* (Spaß, Flow)

Um positive Affekte im *Smartfeld*, konkret Spaß und Flow, zu erheben, wurde die Skala *positive Affekte im teutolab* (Spaß, Flow) von Brandt (2005) für den Posttest und Follow-up-Test übernommen und angepasst. Zu den sieben geschlossenen Fragen wurden noch zwei offene Fragen formuliert, um zu erfahren, was den Schüler*innen im *Smartfeld* besonders Spaß gemacht hat und was ihnen nicht gefallen hat (Tabelle 20). Diese Skala diente zur Optimierung und Weiterentwicklung des Kurses *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*.

Tabelle 20: Definitive Items Skala *positive Affekte im Smartfeld* (Spaß, Flow), adaptiert von Brandt (2005, S. 312)

Code	Item
SPA_flow_01	Ich fand den Besuch im Smartfeld sehr interessant.
SPA_flow_02	Während des Workshops verging die Zeit wie im Flug.
SPA_flow_03	Die Aufgaben waren genau richtig, nicht zu leicht und nicht allzu schwer.
SPA_flow_04	Ich würde das Smartfeld gerne noch einmal besuchen.
SPA_flow_05	Im Smartfeld habe ich mich gelangweilt. (-)
SPA_flow_06	Während des Workshops fiel es mir leicht, gut aufzupassen.
SPA_flow_07	Das Programmieren macht im Smartfeld Spaß.
SPA_flow_08	Was hat dir im Smartfeld besonders gut gefallen?
SPA_flow_09	Was hat dir im Smartfeld nicht gefallen?

4.3.1.11 Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien

Es wurde eine weitere Skala zur Optimierung und Weiterentwicklung des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*, die Skala *Relevanz der Inhalte des Workshops*, von Brandt (2005) übernommen und angepasst (Tabelle 21).

Tabelle 21: Definitive Items Skala *Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien*, adaptiert von Brandt (2005, S. 213–214)

Code	Item
REL_Inh_01	Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, das ich unmittelbar oder später brauchen kann.
REL_Inh_02	Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, das für mich wichtig ist.
REL_Inh_03	Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Informatik größer geworden.
REL_Inh_04	Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.
REL_Inh_05	Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld lassen sich viele praktische Probleme lösen.

4.3.2 Stichprobe Fragebögen

Die Stichprobe für diese Studie bestand aus $N = 269$ Schüler*innen der Sekundarstufe I (7.–9. Klasse) aus der Ostschweiz. Die Altersspanne lag zwischen 12 und 16 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 13.6 Jahren, und die Mehrheit der Schüler*innen war in der 8. Klasse. Alle Schüler*innen wurden von den Lehrpersonen als Anfänger*innen in der visuellen Programmierung mit geringen Vorkenntnissen eingestuft. Die Schüler*innen haben in der Schule manchmal bis eher oft mit *Scratch*, *Blockly*, *micro:bit*, *mBot* oder anderem programmiert (VOR_VP_02 = 3.20). In der Freizeit haben sie damit selten programmiert (VOR_VP_03 = 1.83). Ein Game, eine Website oder einen Roboter haben sie in der Schule manchmal (VOR_VP_04 = 2.41) und in der Freizeit selten (VOR_VP_05 = 1.74) programmiert. Die Schüler*innen schätzen ihre Computerkompetenz als leicht positiv ein, das heißt, sie fühlen sich im Umgang mit dem Computer eher sicher (Com_KOMP = 4.20). In der Freizeit wird der Computer eher genutzt als nicht genutzt (Com_NuF = 3.74).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sich bei der Stichprobe um Schüler*innen handelte, die größtenteils erste Erfahrungen mit dem visuellen Programmieren in der Schule gemacht haben, grund-

legende Computerkompetenzen besitzen und den Computer in der Freizeit zwischendurch nutzen, aber nicht vorwiegend am Computer sitzen. Die Einschätzung der Lehrpersonen ist folglich etwa gleich wie die Einschätzung der Schüler*innen.

4.3.3 Kurzinterviews

Um genauere Informationen zum Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess zu erhalten, wurde im Anschluss an die Follow-up-Tests ein kurzes, problemzentriertes Interview nach Reinders (2015) mit ausgewählten Schüler*innen geführt.

4.3.3.1 Erstellung Interviewleitfaden

Zur Durchführung von vergleichbaren Schüler*inneninterviews wurde ein Leitfaden erstellt. Die Erstellung des Leitfadens erfolgte rein deduktiv. Ausgehend von der Forschungsfrage wurden Themengebiete sowie mögliche Frageschwerpunkte identifiziert. Es wurden keine Fragen aus dem Pilotfragebogen induktiv ergänzt. Der Interviewleitfaden wurde in eine Einstiegs-, Aufwärm-, Haupt- und Ausstiegsphase unterteilt (Reinders, 2011). In der Einstiegsphase wurde den Schüler*innen zuerst gedankt, dass sie am Interview teilnehmen. Anschließend wurden die Inhalte des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* kurz zusammengefasst, um bei den Schüler*innen vergleichbare inhaltliche Voraussetzungen zum Start des Interviews zu schaffen. Außerdem wurden sie über die Anonymisierung aufgeklärt. Zuletzt wurden die Schüler*innen in der Einstiegsphase nach ihrem persönlichen Code gefragt. Durch den persönlichen Code ließen sich die Interviewdaten den Fragebogendaten zuordnen. In der Aufwärmphase wurden Fragen zum Spaß am Workshop gestellt. Diese dienten der Weiterentwicklung des Workshops und wurden nicht für die vorliegende Studie ausgewertet. In der Hauptphase lag der Schwerpunkt auf den Vorstellungen der Schüler*innen zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess und deren Verständnis von Fehlern in diesem Prozess. Da sich naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungs-

prozesse nach Disziplin und Thema unterscheiden können, wurden die Fragen an ein Beispiel gekoppelt. Bei diesem Beispiel mussten sich die Schüler*innen vorstellen, dass sie Wissenschaftler*innen sind und neue Erkenntnisse zum autonomen Fahren gewinnen möchten. Außerdem sollten sie ein autonom fahrendes Auto entwickeln. Das Beispiel wurde im Kontext der Start-ups verortet, und die Rahmenbedingungen wurden genannt. Es wurde bewusst ein Beispiel gewählt, bei dem die Schüler*innen den Erkenntnisgewinnungs- und Entwicklungsprozess nicht kennen. Dadurch sollte das Thema Fehler unterschwellig impliziert werden. Außerdem wurde bewusst ein Beispiel gewählt, bei dem die Schüler*innen programmieren müssten, um zum Ziel zu kommen. Mit dem Kontext der Start-ups und dem Programmieren wurde der Bogen zum Workshop geschlagen. Nach der mündlichen Präsentation des Beispiels wurden Fragen zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess und zum Verständnis von Fehlern in diesem Prozess gestellt. Die Fragen waren so aufgebaut, dass zuerst allgemein zum Vorgehen gefragt und mit weiteren Fragen konkreter auf die Fehler eingegangen wurde. Konkret gliederte sich das Interview in die sechs Bereiche 1. Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten, 2. Gründe für Fehler, 3. Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können, 4. Fehler beim Experimentieren, 5. Entstehung von Beobachtungsfehlern und 6. Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern. Der erste Bereich fokussierte dabei allgemein auf das Vorgehen zur Gewinnung von neuen Erkenntnissen und zur Entwicklung eines selbstfahrenden Autos. Mit den Fragen *Wie würdest du vorgehen?* sowie den beiden konkreteren Unterfragen *Wie würdest du vorgehen, um neue Erkenntnisse, also neues Wissen zu gewinnen?* und *Wie würdest du vorgehen, um ein selbstfahrendes Auto zu entwickeln?* sollte herausgefunden werden, ob Fehler für die Schüler*innen zum Prozess dazugehören. Mit den zweiten bis sechsten Bereichen zwei bis sechs sollten konkretere Informationen zu den Fehlern gewonnen werden. Im zweiten Bereich wurde mit der Frage *Warum können in diesem Prozess Fehler passieren?* nach Gründen für Fehler bzw. Fehlerursachen gefragt. Mit der Frage *Wo können in diesem Prozess Fehler passieren?* des dritten Be-

reichs sollte eruiert werden, in welchen Momenten des Prozesses den Schüler*innen Fehler passieren können. Im vierten Bereich wurde mit der Frage *Welche Fehler können beim Experimentieren passieren?* auf das Experimentieren fokussiert. Das Experiment hat im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht einen besonderen Stellenwert und wird auch im Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* aufgeführt (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) genannt. Da es als zentral empfunden wurde, dass die Schüler*innen auch die Bedeutung und Stellung der Fehler beim Experimentieren kennen, wurde dieser Frage nachgegangen. Analog dazu wurde im fünften Bereich auf Beobachtungsfehler fokussiert. Auch die Beobachtung ist im Kompetenzbereich *NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen* (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017) verortet. Zudem wurden Beobachtungsfehler mit der Interventionsgruppe thematisiert. Mit der Frage *Wie können Beobachtungsfehler entstehen?* wurde versucht herauszufinden, ob Schüler*innen Gründe zur Entstehung von Beobachtungsfehlern nennen können. Mit der Frage des sechsten Bereichs *Wie gehst du als Wissenschaftler*in mit diesen Fehlern um?* sollte etwas über die Vorstellung erfahren werden, wie sie als Wissenschaftler*innen mit Fehlern umgehen würden. In der Ausstiegsphase wurden die Schüler*innen gefragt, ob die Lehrpersonen nach dem Workshop noch etwas zum Thema Fehler im Unterricht gemacht haben. Außerdem wurden sie gefragt, ob sie noch gerne etwas sagen möchten. Zum Schluss wurde den Schüler*innen für das Interview gedankt. Der Interviewleitfaden ist im Anhang zu finden.

4.3.3.2 Stichprobe

An der Interviewstudie haben insgesamt $N = 28$ Schüler*innen aus neun Klassen teilgenommen. Dabei waren 16 Schüler*innen aus sechs Klassen in der Interventionsgruppe und 12 Schüler*innen aus drei Klassen in der Kontrollgruppe. Zur Stichprobenauswahl wurden zufällig ausgewählte Lehrpersonen aus der Kontroll- und Interventionsgruppe ca.

einen Monat nach dem Follow-up-Test angefragt, ob jeweils vier Schüler*innen aus ihren Klassen an Kurzinterviews teilnehmen würden. Da die Lehrpersonen keine Schüler*innen verpflichten wollten, wurde in den Klassen nachgefragt, wer freiwillig an den Kurzinterviews teilnehmen möchte. Daher haben sich in den Klassen unterschiedlich viele Schüler*innen freiwillig gemeldet. Pro Klasse nahmen zwischen zwei bis fünf Schüler*innen an den Interviews teil. Da alle Schüler*innen noch nicht volljährig waren, musste das Einverständnis der Eltern eingeholt werden. Den Eltern dieser Schüler*innen wurde ein Formular zur Einwilligung zugestellt. Dieses Formular enthielt Informationen zum Inhalt der Studie, Informationen dazu, welche Daten durch wen erhoben werden, wer Zugriff auf diese Daten hat und wozu diese erhoben werden. Da alle Eltern das Einverständnis erteilten, konnte mit allen freiwilligen Schüler*innen ein Kurzinterview geführt werden.

In der nachfolgenden Tabelle 22 ist eine Fallübersicht über die interviewten Schüler*innen dargestellt.¹⁴

¹⁴ Da die Fehlerangst einen zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert hatte, wurde die Skala aus der Analyse ausgeschlossen (Kapitel 5.3.1).

Tabelle 22: Fallübersicht interviewte Schüler*innen

Code	Gruppe	Geschlecht	Alter	Niveau	Stufe	M		M		M		M		M		M	
						F_LO	t ₁	F_LO	t ₂								
CH19	KG	m	13	Sek	1	5.00	5.00	5.11	5.40	5.50	4.33	5.60	5.67	4.67			
BA31	KG	m	15	Sek	3	4.80	4.00	4.56	4.20	4.00	4.33	3.80	3.50	3.89			
JU02	KG	m	13	Sek	1	3.80	4.17	4.22	3.80	4.50	4.33	3.60	4.00	4.11			
SO16	KG	w	12	Sek	1	3.30	2.00	3.44	2.50	3.33	3.00	3.00	3.20	3.50			
FR16	KG	w	13	Sek	1	5.20	3.83	4.89	5.00	3.50	4.72	3.60	2.83	4.00			
CA17	KG	m	14	Sek	2	4.40	3.67	4.89	3.70	4.33	5.00	4.50	4.00	5.00			
YO54	KG	w	13	Sek	2	5.00	3.17	5.22	6.00	4.33	5.00	4.60	3.33	4.00			
CL12	KG	m	14	Sek	3	5.20	5.00	4.78	4.60	5.33	4.44	4.20	4.40	3.78			
RO17	KG	m	15	Sek	3	4.80	5.00	4.67	4.60	5.17	3.38	5.00	4.33	4.89			
PE12	KG	w	15	Sek	3	4.00	4.33	3.56	3.80	3.67	3.67	4.40	4.67	3.06			
SO10	KG	w	15	Sek	3	4.75	3.67	4.33	-	-	-	4.40	3.33	4.44			
NE02	KG	m	13	Sek	2	6.00	4.50	6.00	5.40	3.83	6.00	4.60	2.67	5.67			
SI13	IG	w	14	Sek	3	3.67	2.83	4.25	3.50	1.83	4.64	3.50	3.67	4.11			
DA14	IG	w	14	Sek	3	5.80	3.00	5.44	4.50	5.00	2.83	2.30	3.58	1.22			
CH06	IG	m	14	-	2	4.40	3.83	5.00	4.80	4.17	6.00	4.20	3.83	5.11			
BI05	IG	w	14	Sek	2	4.80	4.33	4.22	-	-	-	5.20	4.00	4.56			

Code	Gruppe	Geschlecht	Alter	Niveau	Stufe	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
						F_LO																
						t ₁																
						REA																
						t ₂																
						t ₃																
KA07	IG	w	13	Sek	2	5.60	4.67	5.11	5.00	5.17	4.89	4.00	3.33	5.00								
MA24	IG	w	13	Sek	2	5.60	4.33	5.44	3.60	5.50	4.89	6.00	6.00	6.00								
AL21	IG	w	14	Real	2	5.60	5.17	4.11	6.00	6.00	5.11	5.60	5.83	4.44								
MI14	IG	m	13	Real	2	5.20	6.00	4.61	5.80	6.00	4.44	5.80	6.00	4.33								
SE25	IG	w	14	Sek	2	4.60	4.17	4.89	-	-	-	4.60	3.83	5.22								
DA01	IG	w	13	Real	1	4.60	4.00	4.22	5.60	5.17	5.06	3.40	4.00	2.72								
KA11	IG	w	15	Sek	3	4.00	4.00	3.56	4.80	3.83	4.78	4.00	3.33	4.22								
JA11	IG	m	13	Real	1	6.00	5.67	4.78	5.00	4.17	4.57	6.00	-	4.00								
JE26	IG	m	12	Sek	1	4.80	4.17	3.89	4.00	3.83	2.89	4.60	4.50	4.22								
LI17	IG	m	12	Sek	1	3.50	4.00	5.78	4.80	3.00	5.78	4.88	2.17	4.21								
RE15	IG	w	12	Sek	1	3.80	3.50	3.78	3.20	3.67	3.89	4.00	2.83	4.44								
DA12	IG	w	12	Sek	1	3.20	3.17	3.89	2.60	2.67	4.67	3.00	2.17	3.78								

Anmerkungen: KG = Kontrollgruppe, IG = Interventionsgruppe; Niveau: Sek = höheres Niveau, Real = niedrigeres Niveau; Stufe: 1 =

1. Oberstufe (7. Klasse), 2 = 2. Oberstufe (8. Klasse) und 3 = 3. Oberstufe (9. Klasse); F_LO = Fehlerlernorientierung, F_aff_mot_REA = affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, NOS = Verständnis von NOS-Aspekten; Codierung Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten: 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); t₁ = direkt vor der Intervention, t₂ = direkt nach der Intervention, t₃ = zwei Monate nach der Intervention

4.3.4 Experience Sampling Methode

Zusätzlich zu den vorgestellten Fragebögen und dem Interview wurde die Experience Sampling Methode eingesetzt. Mit dieser Methode wurden die momentanen Emotionen der Schüler*innen zu den vier Interventionszeitpunkten im Workshop erhoben. Bevor jeweils die Intervention mit der 4-Schritte-Methode stattfand, wurden die Schüler*innen mit einem akustischen Signal darauf hingewiesen, einen kurzen Fragebogen am Laptop auszufüllen. Zu diesem Zeitpunkt waren die Schüler*innen mit der Bearbeitung einer Aufgabe beschäftigt und bei dieser unterschiedlich weit fortgeschritten. Nur wenige Schüler*innen waren mit der Aufgabe bereits fertig. Die Schüler*innen mussten beim Kurzfragebogen lediglich ihren persönlichen Code eingeben sowie sechs Fragen zu den Emotionen Spaß (*Mir macht diese Aufgabe Spaß*), Wut (*Ich bin wütend, weil ich diese Aufgabe nicht lösen kann*), Hoffnung (*Ich bin zuversichtlich, diese Aufgabe richtig zu lösen*), Stolz (*Ich bin stolz, diese Aufgabe lösen zu können*), Angst (*Ich habe Angst, diese Aufgabe nicht richtig zu lösen*), Scham (*Ich schäme mich, weil ich diese Aufgabe nicht lösen kann*), Hoffnungslosigkeit (*Ich habe keine Hoffnung, diese Aufgabe richtig zu lösen*) und Langweile (*Diese Aufgabe langweilt mich*) bewerten. Zur Bewertung dieser sechs Items wurde eine sechsstufige Likert-Skala mit 1 = stimmt überhaupt nicht, 2 = stimmt größtenteils nicht, 3 = stimmt eher nicht, 4 = stimmt eher, 5 = stimmt größtenteils und 6 = stimmt völlig gewählt.

Da die Experience-Sampling-Methode nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit war, wurde diese in der Abbildung 14 nicht dargestellt. Daher wird sie an dieser Stelle auch nicht weiter ausgeführt und im Kapitel 5 nicht ausgewertet. Die Experience Sampling Methode wird im Rahmen eines nachfolgenden Artikels ausgewertet.

5 Analysemethodik

5.1 Pilotierung Interventionsstudie

Da die Intervention für die vorliegende Studie entwickelt wurde, wurde durch eine Pilotierung ein Qualitätssicherungsschritt durchgeführt, denn durch die Befragung im Rahmen des Workshops (direkt vor dem Kurs und direkt nach dem Kurs) und die zusätzliche Intervention mit der 4-Schritte-Methode, welche bei der Interventionsgruppe viermal über den Tag eingesetzt wurde, war nicht klar, welche Auswirkung diese auf die benötigten Bearbeitungszeiten der Aufgaben hatte. Zudem war nicht klar, wie die Schüler*innen auf die eingesetzte 4-Schritte-Methode reagieren. Das ursprüngliche Konzept sah vor, die einzelnen Phasen der 4-Schritte-Methode nacheinander zu pilotieren, um diese einzeln auszuwerten und jedes Mal Anpassungen zur Optimierung vorzunehmen. Aufgrund des Lockdowns in der Schweiz vom 16. März 2020 bis 26. April 2020 musste die Pilotierung jedoch verschoben werden. Die Schüler*innen wurden in diesem Zeitraum per Fernunterricht zu Hause unterrichtet und durften keine außerschulischen Lernorte besuchen. Ab dem 11. Mai durften obligatorische Schulen schrittweise wieder öffnen. Außerschulische Lernorte durften jedoch weiterhin nicht besucht werden. Aus diesem Grund wurden im Zeitraum von März 2020 bis zu den Sommerferien im Juli 2020 sowohl die Interventionsstudie als auch die Instrumente fertig entwickelt und mit verschiedenen Fachpersonen wie Lehrpersonen und wissenschaftlichen Mitarbeitenden der Pädagogischen Hochschule St. Gallen besprochen. Nach den Sommerferien im August 2020 durften die Klassen wieder außerschulische Lernorte besuchen. Die Fragebögen und die Interventionsstudie wurden dann mit vier Klassen in einer ersten Pilotierung getestet. Die vier Testläufe wurden von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit durchgeführt und vom Workshopleiter der Interventionsgruppe beobachtet und unterstützt. Da die 4-Schritte-Methode, die viermal über den Tag verteilt durchgeführt wurde, mehr Zeit benötigte als angenommen, mussten inhaltliche Anpassungen am Workshop vorgenommen werden. Einige Aufgaben wur-

den herausgestrichen, andere mussten gekürzt werden. In dieser ersten Pilotierung wurden noch keine Videos zu den Naturwissenschaftlern gezeigt. Es wurde jeweils ein Bild eingeblendet und die Geschichte zu den Einstellungen der Naturwissenschaftler zu Fehlern erzählt. Obwohl die Geschichten auswendig gelernt wurden, wurden immer wieder einige Infos vergessen oder anders erzählt. Um diese Unterschiede zu vermeiden und die Interventionen möglichst vergleichbar zu halten, wurde nach der ersten Pilotierung entschieden, die Geschichten zu verfilmen und in kurzen Videos zu zeigen. Die Videos wurden vom Workshopleiter der Interventionsgruppe erstellt. Im Rahmen der Auswertungsphase der ersten Pilotierung wurde zudem ein Leitfaden für die beiden Workshopleitungen und die studentischen Hilfskräfte zum Umgang mit Fehlern erstellt. Als Grundlage wurde die Tabelle „Fehlervermeidungsdidaktik in Gegenüberstellung zu Möglichkeiten einer Fehlerermutigungsdidaktik, bezogen auf verschiedene Parameter des Unterrichts“ von Oser und Spychiger (2005, S. 166) angepasst. Der unterrichtliche Parameter *Lernstoff* wurde im Rahmen der Interventionsstudie bereits aufbereitet und daher nicht in den Leitfaden übernommen. Der unterrichtliche Parameter *Nonverbale Kommunikation* wurde ergänzt. Anhand des Leitfadens wurden sowohl die Workshopleiter als auch die studentischen Hilfskräfte geschult. Mit dieser Schulung sollte ein möglicher Einfluss dieser Personen kontrolliert werden. Der Leitfaden ist im Anhang zu finden.

Da die Erstellung der Videos viel Zeit in Anspruch nahm und die zweite Pilotierung bereits zwei Wochen später startete, wurde auch in der zweiten Pilotierung anstelle von Videos mit den Geschichten gearbeitet. Daher konnten die Videos nicht pilotiert werden. Auch die zweite Pilotierung wurde mit vier Klassen durchgeführt. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Ausbildung vom Workshopleiter der Interventionsgruppe, welcher jeweils die Workshops für die Interventionsgruppen durchführte. Mit jedem durchgeführten Workshop in der zweiten Pilotierungsphase wurden immer mehr Leitungsaufgaben von ihm übernommen, bis er schließlich den letzten der vier Workshops allein leitete. Jeder Workshop wurde im Anschluss reflektiert, und Verbesserungsvorschläge wurden mitgeteilt.

Durch die inhaltlichen Anpassungen nach der ersten Pilotierung wurde die vorherrschende hektische Betriebsamkeit reduziert und eine ruhigere Durchführbarkeit des Workshops erreicht. Die Zeit bleibt weiterhin eine Herausforderung. Dennoch war der Ablauf mit den Fragebögen und der 4-Schritte-Methode am Schluss der zweiten Pilotierung zufriedenstellend.

5.2 Pilotierung Fragebogen

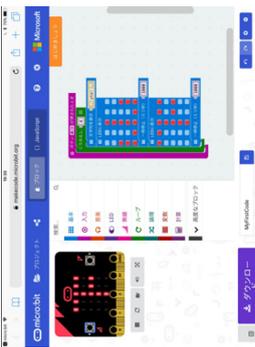
Die Pilotierung der Fragebögen im Frühsommer 2020 war, wie die Pilotierung der Interventionsstudie, vom Lockdown aufgrund von COVID-19 betroffen. Aus diesem Grund wurde in einer ersten Pilotierung ein Teil des Pretests in den Schulen pilotiert. Dieser Teil enthielt die Skalen *Vorstellung und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren*, *Computerkompetenz*, *Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit* und *intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit*. Die Skalen wurden auf Verständlichkeit und Reliabilität geprüft und im Anschluss angepasst. Die erste Pilotierung des kompletten Pre- und Posttests fand mit der ersten Pilotierung der Interventionsstudie nach den Sommerferien im August 2020 statt, als die Klassen wieder außerschulische Lernorte besuchen durften. Bei den Pilotierungen ging es einerseits darum, die benötigte Zeit und das Verständnis der Items zu evaluieren, und andererseits darum, den Fragebogen zu validieren. Die erste Pilotierung fand im August 2020 mit vier Klassen statt, die zweite Pilotierung im September 2020 mit weiteren vier Klassen. Bei der Reliabilitätsprüfung wurde geschaut, ob der Cronbachs Alpha-Wert $\geq .70$ und die Trennschärfe $\geq .40$ ist (vgl. Bühner, 2011). Außerdem wurde mit einer explorativen Faktoranalyse überprüft, ob die Items einer Skala auf einen Faktor laden. Mit der konfirmatorischen Faktoranalyse wurde überprüft, ob der Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) $\leq .08$, der Comparative-Fit-Index (CFI) und der Tucker-Lewis Index (TLI) $\geq .90$ waren (Hu & Bentler, 1999; McDonald & Ho, 2002).

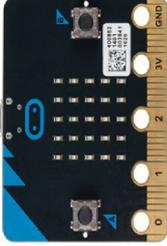
5.2.1 Pilotierung Skala *Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren*

Die Vorstellungen der Schüler*innen zum visuellen Programmieren wurden, angelehnt an Güdel (2014), zuerst mit einer offenen Frage erhoben. Danach wurden vier eigens formulierte Fragen zum Vorwissen gestellt. Anschließend wurde angelehnt an Güdel (2014) eine Erklärung zum visuellen und textbasierten Programmieren gegeben und der *micro:bit* wurde vorgestellt. Diese Erklärungen und die Vorstellungen des *micro:bit* waren nötig, damit die Schüler*innen die anschließenden Fragen zur Selbstwirksamkeitserwartung und zur intrinsischen Motivation beantworten können. Die Fragen zur Vorstellung und zu den Vorkenntnissen zum visuellen Programmieren wurden zweimal mit je vier Klassen pilotiert. Da es sich bei der Skala *Vorstellungen zum visuellen Programmieren* um eine offene Frage und bei der Skala *Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren* um vier einzelne Fragen handelte, wurden nach den Pilotierungen keine Reliabilitätsprüfungen durchgeführt. Bei der ersten Pilotierung wurde darauf geachtet, ob Verständnisschwierigkeiten oder Unklarheiten auftraten. Da dies nicht der Fall war und diese Fragen mehrheitlich beantwortet wurden, wurden die Fragen ohne Anpassungen für die zweite Pilotierung übernommen. Da auch bei der zweiten Pilotierung keine Schwierigkeiten auftraten, wurden die Fragen schließlich für die Haupterhebung übernommen. Nachfolgend sind die Originalitems von Güdel (2014) und die Anpassungen für diese Studie dargestellt. Die Skala *Vorstellungen zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit* enthielt bei der Haupterhebung eine offene Frage und die Skala *Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren* enthielt vier einzelne Fragen (Tabelle 23).

Tabelle 23: Anpassungen der Items der Skala *Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren*

Originalitems von Güdel (2014, S. 327-328)	Bemerkung	Definitive Items Haupterhebung	r_{it}	a wenn Item weggelassen
Stell dir vor, du hast einen Besucher oder eine Besucherin aus dem Weltraum, der das Wort „Technik“ noch nie gehört hat. Wie erklärst du ihm, was Technik ist? (Schreibe hier deine Erklärung in maximal drei Sätzen auf. Das ist eine wichtige Frage, bitte nicht überspringen!)	Das Item wurde etwas einfacher formuliert. Die Bemerkung in Klammern wurde angepasst.	VOR_VP_01 Stell dir vor, dass dich jemand aus dem Weltraum besucht. Dieser Besucher, diese Besucherin hat das Wort „visuelles Programmieren“ noch nie gehört. Wie erklärst du ihm/ihr das? (Wenn du eine Idee hast, dann schreibe hier deine Erklärung in maximal drei Sätzen auf.)	-	-
-	Eigene Frage	VOR_VP_02 Wie oft hast du in der Schule mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?	-	-
-	Eigene Frage	VOR_VP_03 Wie oft hast du in der Freizeit mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?	-	-
-	Eigene Frage	VOR_VP_04 Wie oft hast du in der Schule ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?	-	-
-	Eigene Frage	VOR_VP_05 Wie oft hast du in der Freizeit ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?	-	-

Originalitems von Güdel (2014, S. 327–328)	Bemerkung	Definitive Items Haupterhebung	r_{it}	α wenn Item weggelassen
<p>Du hat vorher mit eigenen Worten Technik erklärt. Es gibt auch andere Möglichkeiten, Technik zu erklären. Lies bitte im folgenden Text, was wir unter dem Begriff „Technik“ verstehen.</p> <p>Technik beinhaltet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alle künstlichen Gegenstände und Bereiche, die uns Menschen nützen (z. B. Haushaltgeräte, Zugverkehrsnetze, Computersysteme, Röntgenapparate, Kläranlagen) • Alle Tätigkeiten, die bei der Erfindung, Herstellung, beim Gebrauch und bei der Entsorgung der künstlichen Gegenstände und Systeme notwendig sind (z. B. Erfinden, Entwurfsskizzen zeichnen, Einzelteile zusammenbauen, Systeme überwachen, Computer nutzen) 	<p>Der Einleitungstext wurde etwas gekürzt, damit die Schüler*innen weniger lesen mussten. Die Erklärung wurde auf visuelle Programmen mit dem <i>micro:bit</i> angepasst.</p>	<p>VOR_VP_06</p> <p>Es gibt auch andere Möglichkeiten, „visuelles Programmieren“ zu erklären.</p> <p>Beim visuellen Programmieren wird ein Code mit grafischen Elementen erstellt. Das sind beispielsweise farbige Blöcke. Diese Blöcke werden passend aneinandergehängt.</p> <p>Zum Beispiel:</p>	<p>–</p>	<p>–</p>
				
		<p>Quelle: „micro:bit web“ by Tatsuo Yamashita is licensed under CC BY 2.0.</p>		

Originalitems von Güdel (2014, S. 327–328)	Bemerkung	Definitive Items Haupterhebung	r_{it} a wenn Item weg- gelassen
<p>Da mit dem micro:bit auch textbasiert programmiert werden kann, wurde noch eine Erklärung zum textbasierten Programmieren gegeben.</p>	VOR_VP_07	<p>Man kann auch textbasiert programmieren.</p> <pre data-bbox="459 618 644 1003"> 1 for (let index = 0; index < 5; index++) { 2 pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 1) 3 basic.pause(500) 4 pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 0) 5 basic.pause(500) 6 } 7 basic.forever(function () { 8 9 }) 10 </pre>	--
<p>Da die Schüler*innen den micro:bit evtl. noch nicht kannten, wurde auch der micro:bit kurz vorgestellt.</p>	VOR_VP_08	<p>Der micro:bit ist ein Beispiel eines kleinen programmierbaren Computers.</p>  <p>Quelle: „micro:bit Board“ by SparkFunElectronics is licensed under CC BY 2.0.</p>	--

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.2 Pilotierung Skalen *Computerkompetenz und Computernutzung in der Freizeit*

Um die Computerkompetenz der Schüler*innen zu erfassen, wurde die Skala *Computerkompetenz* von Karapanos und Fendler (2015) übernommen und angepasst. Ein Item wurde bereits vor der ersten Pilotierung aufgrund der umständlichen und negativen Formulierung ausgeschlossen. Ein weiteres Item, ein Item zur Computernutzung in der Freizeit, wurde auch zu Beginn herausgenommen und damit eine neue Skala zur *Computernutzung in der Freizeit* erstellt. Beide Skalen wurden zweimal mit je vier Klassen pilotiert. In den nachfolgenden Tabellen 24 und 25 sind die Anpassungen der einzelnen Items auf Grundlage der Originalskala sowie die Anpassungen aufgrund der Auswertungen der Pilotierungen dargestellt. Zuerst sind die Anpassungen der Computerkompetenz und im Anschluss die Anpassungen der Computernutzung in der Freizeit aufgeführt. Da die beiden Skalen *Computerkompetenz* und *Computernutzung in der Freizeit* bereits nach der ersten Pilotierung gute Werte bei der Reliabilitätsprüfung aufzeigten und keine weiteren Anpassungen vorgenommen wurden, sind nachfolgend nur die Originalitems von Karapanos und Fendler (2015) und die angepassten Items der Haupterhebung dargestellt. Die Skala *Computerkompetenz* enthielt bei der Haupterhebung fünf Items und einen Cronbachs Alpha-Wert von .849 und die Skala *Computernutzung in der Freizeit* drei Items mit einem Cronbachs Alpha-Wert von .924 (Tabelle 24 und Tabelle 25).

Tabelle 24: Anpassungen der Items der Skala Computerkompetenz

Originalitem von Karapanos und Fendler (2015, S. 44)	Bemerkung	Definitive Items $\alpha = .849$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
1 Es liegt mir, mit Computern zu arbeiten.	Das Item wurde für die Schüler*innen der Sek I etwas einfacher formuliert.	Com_ KOMP_01	.75	.80
2 Ich fühle mich sicher in Bezug auf meine Fähigkeiten, einen Computer zu nutzen.	Originalitem übernommen	Com_ KOMP_02	.71	.51
3 Ich traue mir zu, dass ich mich in ein neues Computerprogramm selbst einarbeiten kann.	Originalitem übernommen	Com_ KOMP_03	.66	.82
4 Um mit Computern zurecht zu kommen, muss ich mir viel Mühe geben. (-)	Da das Item etwas umständlich und negativ formuliert wurde, wurde das Item bereits zu Beginn ausgeschlossen.	-	-	-
5 Ich beschäftige mich auch in meiner Freizeit viel mit Computern.	Item für neue Skala <i>Computernutzung in der Freizeit</i> übernommen.	-	-	-
6 Ich fühle mich im Umgang mit Standardsoftware (Office-Anwendungen, Internet, E-Mail) sicher.	Originalitem übernommen	Com_ KOMP_04	.56	.84

Originalitem von Karapanos und Fendler (2015, S. 44)	Bemerkung	Definitive Items Haupterhebung $\alpha = .849$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
7 Ich fühle mich im Umgang mit komplexeren Anwendungen im Multimedia-Bereich (z. B. Zeichenprogramme, Programmiersprachen, Audio- und Videosoftware) sicher.	Originalitem übernommen	Com_KOMP_05 Ich fühle mich im Umgang mit komplexeren Anwendungen im Multimedia-Bereich (z. B. Zeichenprogramme, Programmiersprachen, Audio- und Videosoftware) sicher.	.65	.82

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

Tabelle 25: Anpassungen der Items der Skala Computernutzung in der Freizeit

Originalitem von Karapanos und Fendler (2015, S. 44)	Bemerkung	Definitive Items Haupterhebung $\alpha = .924$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
5 Ich beschäftige mich auch in meiner Freizeit viel mit Computern.	Da mit dem Item eine zweite Skala erstellt wurde, wurde „auch“ weggelassen.	Com_NuF_01 Ich beschäftige mich in meiner Freizeit viel mit Computern.	.87	.88
–	Eigenes Item, frei formuliert	Com_NuF_02 Ich benutze den Computer in meiner Freizeit oft.	.84	.90
–	Eigenes Item, frei formuliert	Com_NuF_03 In meiner Freizeit verbringe ich viel Zeit vor dem Computer.	.84	.90

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.3 Pilotierung Skala *Selbstwirksamkeit zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit*

Um die Selbstwirksamkeit der Schüler*innen zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit* zu erfassen, wurde die Skala *Selbstwirksamkeitserwartung in Technik nutzen* von Güdel (2014) übernommen und angepasst. Dabei wurde die Einleitung *Ich traue mir zu* für die Items übernommen, der Inhalt aber auf das visuelle Programmieren mit dem *micro:bit* angepasst. Zwei Items wurden nach der zweiten Pilotierung aufgrund von Verständnisschwierigkeiten ausgeschlossen. In der nachfolgenden Tabelle 26 sind die Anpassungen der einzelnen Items notiert. Die Skala *Selbstwirksamkeit zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit* enthielt bei der Haupterhebung sechs Items und einen Cronbachs Alpha-Wert von .904 (Tabelle 26).

Tabelle 26: Anpassungen der Items der Skala Selbstwirksamkeit zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit

Originalitems von Güdel (2014, S. 317)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .897$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
SWEspez_ NU_01 Ich traue mir zu, einen tropfenden Wasserhahn zu reparieren.	Die Einleitung „Ich traue mir zu“ wurde übernommen. Der Inhalt wurde aufs visuelle Programmieren mit dem micro:bit angepasst.	SWEspez_ NU_01 Ich traue mir zu, visuell zu programmieren.	.71	.88
SWEspez_ NU_02 Ich traue mir zu, eine Stichsäge oder Schleifmaschine zu bedienen.	Die Einleitung „Ich traue mir zu“ wurde übernommen. Der Inhalt wurde aufs visuelle Programmieren mit dem micro:bit angepasst.	SWEspez_ NU_02 Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.	.63	.89
SWEspez_ NU_03 Ich traue mir zu, bei einem Auto das Öl oder die Reifen zu wechseln.	Die Einleitung „Ich traue mir zu“ wurde übernommen. Der Inhalt wurde aufs visuelle Programmieren mit dem micro:bit angepasst.	SWEspez_ NU_03 Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.	.75	.88
SWEspez_ NU_04 Ich traue mir zu, an einer Nähmaschine zu arbeiten.	Die Einleitung „Ich traue mir zu“ wurde übernommen. Der Inhalt wurde aufs visuelle Programmieren mit dem micro:bit angepasst.	SWEspez_ NU_04 Ich traue mir zu, eigene Pro- gramme für den micro:bit zu schreiben.	.74	.88
SWEspez_ NU_05 Ich traue mir zu, Elektrik-Reparatu- ren auszuführen.	Die Einleitung „Ich traue mir zu“ wurde übernommen. Der Inhalt wurde aufs visuelle Programmieren mit dem micro:bit angepasst.	SWEspez_ NU_05 Ich traue mir zu, Fehler in einem Code zu finden.	.60	.89

Originalitems von Güdel (2014, S. 317)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .897$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	
SWEspez_ NU_06	Ich traue mir zu, einen Fahrrad-schlauch auszu-wechseln.	Ich traue mir zu, einen fehlerhaften Code zu ver-bessern.	.79	.87	
SWEspez_ NU_07	Ich traue mir zu, ein Mofa (Töffli) zu reparieren.	Ich traue mir zu, eine Folge von Befehlen wiederholt ausführen zu lassen.	.61	.89	
-	-	SWEspez_ NU_08	Ich traue mir zu, gleiche, im-mer wiederkehrende Werte durch Variablen zu ersetzen.	.61	.89
Items Pilotierung 1 $\alpha = .897$	r_{it}	Items Pilotierung 2 $\alpha = .921$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	
WEspez_ NU_01	Ich traue mir zu, visuell zu program-mieren.	Ich traue mir zu, visuell zu program-mieren.	.72	.91	
SWEspez_ NU_02	Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.	Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.	.71	.91	

Items Pilotierung 1 $\alpha = .897$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .921$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
SWEspez_ NU_03	.75	.88	Item für Pilotierung 2 unverändert übernom- men	SWEspez_ NU_03	.82	.90
Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.				Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.		
SWEspez_ NU_04	.74	.88	Item für Pilotierung 2 unverändert übernom- men	SWEspez_ NU_04	.81	.91
Ich traue mir zu, eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.				Ich traue mir zu, eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.		
SWEspez_ NU_05	.60	.89	Item für Pilotierung 2 unverändert übernom- men	SWEspez_ NU_05	.68	.91
Ich traue mir zu, Fehler in einem Code zu finden.				Ich traue mir zu, Fehler in einem Code zu finden.		
SWEspez_ NU_06	.79	.87	Item für Pilotierung 2 unverändert übernom- men	SWEspez_ NU_06	.85	.90
Ich traue mir zu, einen fehlerhaften Code zu verbessern.				Ich traue mir zu, einen fehlerhaften Code zu verbessern.		
SWEspez_ NU_07	.61	.89	Einige Schüler*innen hatten Verständnispro- bleme. Das Item wurde dennoch für die zweite Pilotierung übernom- men.	SWEspez_ NU_07	.77	.91
Ich traue mir zu, eine Folge von Befehlen wiederholt ausführen zu lassen.				Ich traue mir zu, eine Folge von Befehlen wieder- holt ausführen zu lassen.		

Items Pilotierung 1		Items Pilotierung 2	
r_{it}	α wenn Item weglassen	r_{it}	α wenn Item weglassen
Items Pilotierung 1 $\alpha = .897$			
SWEspez_NU_08	Ich traue mir zu gleiche, immer wiederkehrende Werte durch Variablen zu ersetzen.	SWEspez_NU_08	Ich traue mir zu, gleiche, immer wiederkehrende Werte durch Variablen zu ersetzen.
.61	.89	.55	.93
Items Pilotierung 2 $\alpha = .921$			
Items Pilotierung 2 $\alpha = .904$			
SWEspez_NU_01	Ich traue mir zu, visuell zu programmieren.	SWEspez_NU_01	Ich traue mir zu, visuell zu programmieren.
.72	.91	.70	.89
SWEspez_NU_02	Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.	SWEspez_NU_02	Ich traue mir zu, textbasiert zu programmieren.
.71	.91	.81	.88
SWEspez_NU_03	Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.	SWEspez_NU_03	Ich traue mir zu, den micro:bit zu programmieren.
.82	.90	.76	.88
SWEspez_NU_04	Ich traue mir zu, eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.	SWEspez_NU_04	Ich traue mir zu, eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.
.81	.91	.78	.88

Items Pilotierung 2 $\alpha = .921$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .904$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
SWEspez_ NU_05	.68	.91	Item für Haupterhebung unverändert übernommen	SWEspez_ NU_05	.66	.90
SWEspez_ NU_06	.85	.90	Item für Haupterhebung unverändert übernommen	SWEspez_ NU_06	.72	.89
SWEspez_ NU_07	.77	.91	Da auch bei der Pilotierung zwei einige Schüler*innen Verständnisprobleme hatten, wurde das Item für die Haupterhebung gelöscht.	-	-	-
SWEspez_ NU_08	.55	.93	Da auch bei der Pilotierung zwei einige Schüler*innen Verständnisprobleme hatten, wurde das Item für die Haupterhebung gelöscht.	-	-	-

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.4 Pilotierung Skala *intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit*

Um die intrinsische Motivation der Schüler*innen zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit* zu erfassen, wurde die Subskala *Interest/Enjoyment* von Centre for Self-Determination Theory (o.J.) übernommen und angepasst. Dabei wurde ein Item aufgrund der umständlichen Formulierung bereits zu Beginn ausgeschlossen. Die restlichen Items wurden ins Deutsche übersetzt, für das Programmieren angepasst und möglichst einfach formuliert. In der nachfolgenden Tabelle 27 sind die Anpassungen der einzelnen Items notiert. Da die Skala *intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit* bereits nach der ersten Pilotierung gute Werte bei der Reliabilitätsprüfung aufzeigte und keine weiteren Anpassungen vorgenommen wurden, sind nachfolgend nur die Originalitems vom Centre for Self-Determination Theory (o.J.) und die angepassten Items der Haupterhebung dargestellt. Die Skala *intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit* enthielt bei der Haupterhebung sechs Items und einen Cronbachs Alpha-Wert von .960 (Tabelle 27).

Tabelle 27: Anpassungen der Items der Skala *intrinsic* Motivation zum visuellen Programmieren mit dem *micro:bit*

Originalitems von Centre for Self-Determination Theory (o.J., S. 3)	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .960$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
1 I enjoyed doing this activity very much.	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_01 Ich mag Programmieren sehr gerne.	.92	.95
2 This activity was fun to do.	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_02 Programmieren macht mir Spaß.	.90	.95
3 I thought this was a boring activity. (-)	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_03 Ich finde Programmieren langweilig. (-)	.85	.96
4 This activity did not hold my attention at all. (-)	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_04 Programmieren interessiert mich überhaupt nicht. (-)	.80	.96

Originalitems von Centre for Self-Determination Theory (o.J., S. 3)	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .960$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
5 I would describe this activity as very interesting.	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_05 Ich finde das Programmieren sehr interessant.	.90	.95
6 I thought this activity was quite enjoyable.	Die Phrase „this activity“ wurde durch „Programmieren“ ersetzt. Das Item wurde ins Deutsche übersetzt und möglichst einfach formuliert.	MOTint_06 Ich finde das Programmieren sehr unterhaltsam.	.88	.95
7 While I was doing this activity, I was thinking about how much I enjoyed it.	Das Item wurde aufgrund der umständlichen Formulierung bereits zu Beginn weggelassen.	-	-	-

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.5 Pilotierung Skalen *Fehlerlernorientierung* und *Fehlerangst*

Für die Studie wurden die beiden Skalen zum individuellen Umgang der Schüler*innen mit Fehlern, nämlich die *Fehlerlernorientierung* und die *Fehlerangst* von Spychiger et al. (2006) übernommen und angepasst. Beide Skalen wurden zweimal mit je vier Klassen pilotiert. In den nachfolgenden Tabellen 28 und 29 sind die Anpassungen der einzelnen Items notiert. Zuerst sind die Anpassungen der Items der Skala *Fehlerlernorientierung* aufgrund der Pilotierungen aufgeführt und im Anschluss die Anpassungen der Items der Skala *Fehlerangst*.

Bei der Skala *Fehlerlernorientierung* wurden zwei Items von Spychiger et al. (2006) bereits zu Beginn weggelassen, da diese beim Posttest nicht hätten erfragt werden können. Ein weiteres Item wurde nach der ersten Pilotierung aufgrund einer Trennschärfe $< .40$ und eines höheren Cronbachs Alpha Wertes nach Weglassen dieses Items für die Haupterhebung ausgeschlossen. Die für diese Studie verwendete Skala *Fehlerlernorientierung* enthielt nach den Pilotierungen noch fünf Items anstelle der acht vorgeschlagenen Items von Spychiger et al. (2006) und wies einen Cronbachs Alpha-Wert von $.740$ auf (Tabelle 28).

Analog zur Skala *Fehlerlernorientierung* wurden auch bei der Skala *Fehlerangst* von Spychiger et al. (2006) zwei Items bereits zu Beginn weggelassen, da auch diese beim Posttest nicht hätten erfragt werden können. Nach der ersten Pilotstudie erreichte die Skala *Fehlerangst* ein Cronbachs Alpha von $.687$. Da ein Alpha von $.70$ nur knapp verfehlt wurde, wurde die Skala für die zweite Pilotierung im Fragebogen belassen. Das Cronbachs Alpha stieg nach der zweiten Pilotierung auf $.744$ und wurde daher im Fragebogen gelassen. Nach der Haupterhebung sank der Cronbachs Alpha-Wert auf $.644$. Probleme bereitete das Item F_An_03, das eine Trennschärfe von $.36$ aufwies. Die für diese Studie verwendete Skala *Fehlerangst* enthielt nach den Pilotierungen noch drei Items anstelle der fünf vorgeschlagenen Items von Spychiger et al. (2006) (Tabelle 29).

Tabelle 28: Anpassungen der Items der Skala Fehlerlernorientierung

Originalitems von Spychiger et al. (2006, S. 97)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .706$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
L-1 Fehler in Prüfungen werden von mir immer freiwillig verbessert, auch wenn es die Lehrerin nicht extra sagt.	Item wurde ausgeschlossen, da während des Workshops keine Prüfungen geschrieben wurden und das Item daher beim Posttest nicht mehr befragt werden konnte.	-	-	-
L-2 Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	Originalitem übernommen	F_LO_01 Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	.38	.68
L-3 Es macht mir Spaß, bei einer Aufgabe verschiedene Lösungswege auszuprobieren.	Originalitem übernommen	F_LO_02 Es macht mir Spaß, bei einer Aufgabe verschiedene Lösungswege auszuprobieren.	.24	.74
L-4 Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	Originalitem übernommen	F_LO_03 Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	.55	.64
L-5 Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.	Originalitem übernommen	F_LO_04 Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.	.60	.63
L-6 Falsche Lösungen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.	Originalitem übernommen	F_LO_05 Falsche Lösungen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.	.40	.68

Originalitems von Spychiger et al. (2006, S. 97)		Items Pilotierung 1	r_{it}	α wenn Item weggelassen
		$\alpha = .706$		
L-7	Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	F_LO_06 Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	.58	.62
L-8	Fehler, die ich während des Unterrichts gemacht habe, schaue ich mir zu Hause ganz genau an.	-	-	-
Item wurde ausgeschlossen, da der Workshop nach einem Tag zu Ende war und der Posttest noch vor Ort durchgeführt wurde.				
Items Pilotierung 1		Items Pilotierung 2	r_{it}	α wenn Item weggelassen
		$\alpha = .814$		
F_LO_01	Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	F_LO_01 Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	.61	.78
F_LO_02	Es macht mir Spaß, bei einer Aufgabe verschiedene Lösungswege auszuprobieren.	-	-	-
Da das Item eine Trennschärfe < .40 aufwies und das verbessert werden würde, wenn das Item weggelassen wird, wurde dieses Item für die zweite Pilotierung ausgeschlossen.				

Items Pilotierung 1 $\alpha = .706$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .814$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
F_LO_03 Wenn ich im Unter- richt etwas un- geschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	.55	.64	Item für Pilotierung 2 über- nommen	F_LO_02 Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	.66	.76
F_LO_04 Fehler im Unter- richt helfen mir, es hinterher besser zu machen.	.60	.63	Item für Pilotierung 2 über- nommen	F_LO_03 Fehler im Unter- richt helfen mir, es hinterher besser zu machen.	.58	.79
F_LO_05 Falsche Lösun- gen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.	.40	.68	Item für Pilotierung 2 über- nommen	F_LO_04 Falsche Lösungen in Aufgaben über- denke ich mehr- mals.	.51	.81
F_LO_06 Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	.58	.62	Item für Pilotierung 2 über- nommen	F_LO_05 Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	.67	.76

Tabelle 29: Anpassungen der Items der Skala Fehlerangst

Originalitems von Spychiger, Kuster und Oser (2006, S. 101)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .687$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
A-1 Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	Originalitem übernommen	F_An_01 Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	.52	.57
A-2 Ich habe Angst vor der Lehrerin, wenn ich eine schriftliche Arbeit mit vielen Fehlern zurückbekomme.	Das Item wurde weggelassen, da die Lehrperson während des Workshops keine schriftlichen Arbeiten zurückgab und das Item daher beim Posttest nicht befragt werden konnte.	-	-	-
A-3 Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	Originalitem übernommen	F_An_02 Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	.56	.52
A-4 Vor der Schulstunde habe ich manchmal Angst, dass ich während des Unterrichts Fehler machen könnte.	Item wurde weggelassen, da es beim Posttest nicht befragt werden konnte.	-	-	-
A-5 Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mache ich mir Vorwürfe, dass ich zu wenig gelernt oder nicht genug aufgepasst habe.	Die Phrase „zu wenig gelernt“ wurde weggelassen, da vor dem Posttest nicht hätte gelernt werden können, um eine mögliche Veränderung beim Posttest zu erfassen.	F_An_03 Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	.43	.69

Items Pilotierung 1		Items Pilotierung 2	
r_{it}	α wenn Item weglassen	r_{it}	α wenn Item weglassen
Items Pilotierung 1			
$\alpha = .687$			
F_An_01	Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	F_An_01	Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.
.52	.57	.60	.63
Bemerkung			
Da α knapp $< .70$ ist und die Trennschärfe in Ordnung ist, wurde nichts angepasst und das Item für die Haupterhebung übernommen.			
Items Pilotierung 2			
$\alpha = .744$			
F_An_02	Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	F_An_02	Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.
.56	.52	.69	.52
Bemerkung			
Da α knapp $< .70$ ist und die Trennschärfe in Ordnung ist, wurde nichts angepasst und das Item für die Haupterhebung übernommen.			
F_An_03	Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	F_An_03	Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.
.43	.69	.44	.81
Bemerkung			
Da α knapp $< .70$ ist und die Trennschärfe in Ordnung ist, wurde nichts angepasst und das Item für die Haupterhebung übernommen.			

Items Pilotierung 2 $\alpha = .744$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Definitive Items $\alpha = .644$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
F_An_01 Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	.60	.63	Item wurde unverändert übernommen	F_An_01 Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	.56	.43
-	-	-	-	-	-	-
F_An_02 Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	.69	.52	Item wurde unverändert übernommen	F_An_02 Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	.47	.52
-	-	-	-	-	-	-
F_An_03 Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	.44	.81	Item wurde unverändert übernommen	F_An_03 Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	.36	.68

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.6 Pilotierung Skala *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*

Für die Studie wurde die Skala *affektiv-motivationale Adaptivität* von Dresel et al. (2013) ausgewählt und für den Fragebogen angepasst. Auch diese Skala wurde wie die anderen Skalen zweimal mit je vier Klassen pilotiert.

Das mit Stern (*) gekennzeichnete Item von Dresel et al. (2013) hatte eine zu geringe Faktorenladung und wurde daher nicht in die endgültige Skala übernommen. Daher wurde dieses Item auch für diese Studie ausgeschlossen. Die restlichen Items mussten alle inhaltlich auf die Interventionsstudie angepasst werden. Da die angepassten Items bereits nach der ersten Pilotierung gute Werte aufwiesen, die Werte auch bei der zweiten Pilotstudie gut waren und daher nichts weiter an den Items angepasst wurde, werden nachfolgend nur die Originalitems von Dresel et al. (2013), die anfangs gemachten Anpassungen für die Interventionsstudie und die Werte der definitiven Skalen dargestellt. Es wurden alle sechs von Dresel et al. (2013) konzipierten Items übernommen und angepasst. Die Skala *affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler* enthielt bei der Haupterhebung sechs Items und wies einen Cronbachs Alpha-Wert von .825 auf (Tabelle 30).

Tabelle 30: Anpassungen der Items der Skala *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*

Originalitems von Dresel, Schober, Ziegler, Grassinger und Steuer (2013, S. 260)	Bemerkung	Definitive Items	r_{it}	α wenn Item weggelassen
(1) Wenn ich in Mathe was Falsches sage, vermiest mir das die ganze Mathestunde. (-)	Die Phrase „in Mathe“ wurde weggelassen. Die Phrase „was Falsches sagen“ wurde durch „etwas falsch machen“ ersetzt, da die SuS im Workshop an Aufgaben arbeiten und dabei Fehler machen und weniger Lösungen im Plenum nennen. Daher wurde auch „Mathestunde“ durch „Aufgaben“ ersetzt.	F_aff_mot_ REA_01	.52	.81
(2) Wenn ich in Mathe etwas falsch mache, hat das keine Auswirkungen darauf, ob ich zukünftig Spaß am Mathe-Unterricht habe.*	Nach Dresel et al. (2013) hat das mit * gekennzeichnete Item eine zu geringe Faktorenladung und wurde daher nicht in die Skala übernommen.	-	-	-
(3) Wenn ich in Mathe etwas Falsches sage, macht mir die Mathestunde trotzdem noch genauso viel Spaß.	Die Phrase „in Mathe“ wurde weggelassen. Die Phrase „was Falsches sagen“ wurde durch „etwas falsch machen“ ersetzt, da die SuS im Workshop an Aufgaben arbeiten und dabei Fehler machen und weniger Lösungen im Plenum nennen. Daher wurde auch „Mathestunde“ durch „Aufgaben“ ersetzt.	F_aff_mot_ REA_02	.62	.79

Originalitems von Dresel, Schober, Ziegler, Grassinger und Steuer (2013, S. 260)	Bemerkung	Definitive Items	Haupterhebung	r_{it}	α wenn Item weggelassen
		$\alpha = .825$			
(4) Wenn ich in Mathe etwas nicht kann, habe ich in Zukunft trotzdem den gleichen Spaß am Mathe-Unterricht.	Die Phrase „in Mathe“ wurde weggelassen. „Mathe-Unterricht“ wurde durch „Aufgaben“ ersetzt, da die SuS im Workshop an vielen verschiedenen Aufgaben arbeiten.	F_aff_mot_REA_03	Wenn ich etwas nicht kann, habe ich in Zukunft trotzdem den gleichen Spaß an der Aufgabe.	.59	.80
(5) Wenn ich in Mathe eine Aufgabe nicht lösen kann, habe ich beim nächsten Mal weniger Lust. (-)	Die Phrase „in Mathe“ wurde weggelassen.	F_aff_mot_REA_04	Wenn ich eine Aufgabe nicht lösen kann, habe ich beim nächsten Mal weniger Lust. (-)	.55	.81
(6) Wenn ich in Mathe einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spaß am Mathe-Unterricht. (-)	Die Phrase „in Mathe“ und wurde weggelassen. „Mathe-Unterricht“ wurde durch „Aufgaben“ ersetzt, da die SuS im Workshop an vielen verschiedenen Aufgaben arbeiten.	F_aff_mot_REA_05	Wenn ich einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spaß an der Aufgabe. (-)	.70	.77
(7) Wenn ich in Mathe etwas nicht kann, habe ich trotzdem Lust weiter zu arbeiten.	Die Phrase „in Mathe“ wurde weggelassen.	F_aff_mot_REA_06	Wenn ich etwas nicht kann, habe ich trotzdem Lust weiter zu arbeiten.	.58	.80

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α); SuS = Schülerinnen und Schüler

5.2.7 Pilotierung NOS-Skalen

Zur Erhebung einiger Aspekte aus den in Abbildung 1 dargestellten drei NOS-Dimensionen von McComas (2015) *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft, wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* und *menschliche Elemente der Wissenschaft* wurden für die erste Pilotierung Skalen gewählt und angepasst, die diesen drei Dimensionen zugeordnet werden können. Aus der Dimension *Werkzeuge und Produkte der Wissenschaft* wurde der Aspekt *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* gewählt und zwei Skalen gebildet (*NOS_Met_A* und *NOS_Met_E*). Aus der Dimension *wissenschaftliches Wissen und seine Grenzen* wurde eine Skala zu *Wissen ist vorläufig, aber beständig* (*NOS_W*) gebildet. Aus der Dimension *menschliche Elemente der Wissenschaft* wurden die beiden Aspekte *Subjektivität* (*NOS_Subj*) und *kulturelle Elemente* (*NOS_Kult*) gewählt. Eine weitere Skala, die konkret das Fehlermachen beim Experimentieren aufgreift, wurde erstellt (*NOS_Exp*). Nachfolgend werden die Erstellung der Skalen, die Pilotierungen und Anpassungen der Items beschrieben und dargestellt.

5.2.7.1 Skala *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden*

Die Skala *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden* wurde von Harrison et al. (2015) übernommen und angepasst. Er erhob diesen NOS-Aspekt mit vier Multiple-Choice-Items und drei Likert-Skalen-Items. Die drei Likert-Skalen-Items wurden übernommen und übersetzt. Die beiden Items *Lik3* und *Lik6* von Harrison et al. (2015) beziehen sich auf die Arbeitsweisen von Wissenschaftler*innen. Diese beiden Items wurden zusätzlich angepasst und die Arbeitsweisen von Erfinder*innen und Programmierer*innen hinzugefügt. Die Skala für die erste Pilotierung bestand aus sieben *NOS_Met*-Items. Die Reliabilitätsanalyse nach der ersten Pilotierung zeigte, dass der Cronbachs Alpha-Wert zu tief war (.608). Auch die Trennschärfen der Items *NOS_Met_01*, *NOS_Met_05* und *NOS_Met_06* waren zu tief. Da es so aussah, als ob die Schüler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftler*innen,

Erfinder*innen und Programmierer*innen als unterschiedlich eingeschätzten, wurden die für die zweite Pilotierung neu hinzugefügten und angepassten Items mit Erfinder und Programmierer wieder gelöscht. Übernommen wurden die von Harrison et al. (2015) übersetzten Items *NOS_Met_01*, *NOS_Met_02* und *NOS_Met_03*.

Nach der zweiten Pilotierung war der Cronbachs Alpha-Wert etwas höher als nach der ersten Pilotierung (.647), aber immer noch zu tief. Der Grund dafür lag an dem Item *NOS_Met_02*, das eine Trennschärfe von nur .31 aufwies. Der Cronbachs Alpha-Wert würde sich nach dem Weglassen dieses Items auf .72 erhöhen, jedoch sollte nicht mit einer Skala gerechnet werden, die aus nur zwei Items besteht, da für die Berechnung des Cronbachs Alpha-Wertes mindestens drei Items nötig sind (Bortz & Döring, 2006; Streiner, 2003). Daher musste die Skala angepasst werden. Sie wurde aufgeteilt und die Items *NOS_Met_01* und *NOS_Met_03* wurden zur Skala *Arbeitsweisen* (*NOS_Met_A*) zusammengefasst. Diese Skala erfasst in der Dimension *Methodenvielfalt* das Verständnis, dass es in den Wissenschaften verschiedene Arbeitsweisen gibt. Die Items *NOS_Met_01* und *NOS_Met_03* wurden zusätzlich etwas angepasst. Damit die Skala aus drei Items besteht, wurde ein weiteres, frei formuliertes Item hinzugefügt. Aus dem Item *NOS_Met_02* wurde die Skala *Ergebnisse* gebildet, die in der Dimension der *Methodenvielfalt* auf das Verständnis abzielt, dass Wissenschaftler*innen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können (*NOS_Met_E*). Damit auch diese Skala aus drei Items besteht, wurden zwei weitere Items frei formuliert.

Bei der Haupterhebung wies die Skala *NOS_Met_A* einen zufriedenstellenden Cronbachs Alpha-Wert von .767 auf. Die Skala *NOS_Met_E* wies einen etwas zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert von .643 auf. Alle Anpassungen sind in den nachfolgenden Tabellen 31 dargestellt.

Tabelle 31: Anpassungen der Items der Skala NOS_Met

	Originalitems von Harrison, Seraphin, Philippoff, Vallin und Brandon (2015, S. 1342)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .608$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
Lik3	All good scientists work in the same way.	Item wurde übersetzt	NOS_ Met_01 Alle guten Wissenschaftler arbeiten auf die gleiche Weise.	.29	.59
Lik3	All good scientists work in the same way.	Neben Wissenschaftlern wurde das Item für Erfinder übernommen.	NOS_ Met_02 Alle guten Erfinder arbeiten auf die gleiche Weise.	.52	.50
Lik3	All good scientists work in the same way.	Da die Schüler*innen im Workshop programmiert hatten, wurde auch nach Programmierern gefragt.	NOS_ Met_03 Alle guten Programmierer arbeiten auf die gleiche Weise.	.56	.48
Lik6	Scientists always get the same results.	Item wurde übersetzt	NOS_ Met_04 Wissenschaftler erhalten immer die gleichen Ergebnisse.	.46	.53
Lik6	Scientists always get the same results.	Neben Wissenschaftlern wurde das Item für Erfinder übernommen.	NOS_ Met_05 Erfinder erhalten immer die gleichen Ergebnisse.	.33	.57
Lik6	Scientists always get the same results.	Da die Schüler*innen im Workshop programmiert hatten, wurde auch nach Programmierern gefragt.	NOS_ Met_06 Programmierer erhalten immer die gleichen Ergebnisse.	-.24	.72
Lik7	There are many different ways to do science.	Item wurde übersetzt	NOS_ Met_07 Es gibt viele verschiedene Wege, Wissenschaft zu betreiben.	.46	.53

Items Pilotierung 1 $\alpha = .608$		r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .647$		r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_	Alle guten Wissen-	.29	.59	Übersetztes Item von Harrison	NOS_	Alle guten Wissen-	.50	.51
Met_01	schaftler arbeiten auf die gleiche Weise.			et al. (2015) wurde übernom- men	Met_01	schaftler arbeiten auf die gleiche Weise.		
NOS_	Alle guten Erfinder	.52	.50	Da es schien, dass die Schü- ler*innen die Arbeitsweisen von				
Met_02	arbeiten auf die gleiche Weise.			Wissenschaftlern, Erfindern und Programmieren als unter- schiedlich einschätzten, wurde das Item gelöscht.				
NOS_	Alle guten Program-	.56	.48	Da es schien, dass die Schü- ler*innen die Arbeitsweisen von				
Met_03	mierer arbeiten auf die gleiche Weise.			Wissenschaftlern, Erfindern und Programmieren als unter- schiedlich einschätzten, wurde das Item gelöscht.				
NOS_	Wissenschaftler	.46	.53	Übersetztes Item von Harrison	NOS_	Wissenschaftler	.31	.72
Met_04	erhalten immer die gleichen Ergeb- nisse.			et al. (2015) wurde übernom- men	Met_02	erhalten immer die gleichen Ergeb- nisse.		

Items Pilotierung 1 $\alpha = .608$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .647$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_ Met_05	.33	.57	Da es schien, dass die Schü- ler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmierern als unter- schiedlich einschätzten, wurde das Item gelöscht.	-	-	-
NOS_ Met_06	-.24	.72	Da es schien, dass die Schü- ler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmierern als unter- schiedlich einschätzten, wurde das Item gelöscht.	-	-	-
NOS_ Met_07	.46	.53	Übersetztes Item von Harrison et al. (2015) wurde übernom- men	NOS_ Met_03	.62	.29
						Es gibt viele ver- schiedene Wege, Wissenschaft zu betreiben.
						Es gibt viele ver- schiedene Wege, Wissenschaft zu betreiben.

Items Pilotierung 2 $\alpha = .647$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .767$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_01	.50	.51	Die Phrase „gut“ wurde weglassen, da nicht klar ist, wer gute Wissenschaftler arbeiten auf die gleiche Weise.	NOS_01 Met_A_01	.62	.66
			Wissenschaftler sind. Außerdem wurde das Item gendergerecht angepasst und daher die weibliche Form hinzugenommen.	Alle Wissen- schaftler*innen arbeiten auf die gleiche Weise.		
-	-	-	Da das Item NOS_Met_02 eine zu tiefe Trennschärfe hatte, wurde das Item aus dieser Skala genommen und damit eine neue Skala gebildet. Damit die Skala aus drei Items besteht, wurde ein drittes Item frei formuliert.	NOS_02 Met_A_02	.66	.63
NOS_03	.62	.29	Das Item wurde als schwer verständlich empfunden und daher umformuliert.	Wissenschaft- ler*innen haben alle die gleichen Vorgehenswei- sen.	.52	.77
			Es gibt viele verschiedene Wege, Wissenschaft zu betreiben.			

Items Pilotierung 2 $\alpha = .647$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .643$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_ Met_02	.31	.2	Da das Item NOS_Met_02 eine zu tiefe Trennschärfe hatte, wurde das Item aus obiger Skala herausgenommen und damit eine neue Skala gebildet. Das Item wurde gendgerech angepasst.	NOS_ Met_E_01	.41	.60
–	–	–	Damit die Skala aus drei Items besteht, wurde ein zweites Item frei formuliert.	NOS_ Met_E_02	.47	.52
–	–	–	Damit die Skala aus drei Items besteht, wurde ein drittes Item frei formuliert.	NOS_ Met_E_03	.48	.51

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.7.2 Skala *Wissen ist vorläufig, aber beständig*

Zur Erstellung der Skala *Wissen ist vorläufig, aber beständig* wurden Items von Shaakumeni und Csapó (2019) übernommen und übersetzt. Da im Fragebogen von Shaakumeni und Csapó (2019) nur zwei Items für den vorläufigen Charakter des wissenschaftlichen Wissens (*tentative*) formuliert wurden, wurde in den anderen Fragebögen nach einem dritten Item gesucht, das zur Skala hinzugefügt werden könnte. Schließlich wurde ein drittes Item aus dem Fragebogen von Harrison et al. (2015) übernommen. Dieses Item wurde nicht wörtlich übersetzt, sondern etwas angepasst. Auch dieses Item wurde für die erste Pilotierung, wie in der obigen Skala *NOS_Met*, dreifach aufgeführt und neben Wissenschaftler*innen auch Erfinder*innen und Programmierer*innen hinzugefügt. Nach der ersten Pilotierung hatte die Skala einen Cronbachs Alpha-Wert von .565. Außerdem hatten die Items *NOS_W_03*, *NOS_W_04* und *NOS_W_05* eine zu tiefe Trennschärfe. Da die Items *NOS_W_04* und *NOS_W_05* von Shaakumeni und Csapó (2019) übernommen wurden, wurden diese im Fragebogen belassen. Aufgrund der Annahme, dass die Schüler*innen, wie oben beschrieben, die Arbeitsweisen von Wissenschaftler*innen auch Erfinder*innen und Programmierer*innen als unterschiedlich einschätzten, wurden für die zweite Pilotierung die Items mit Erfinder*innen und Programmierer*innen wieder gelöscht.

Da der Cronbachs Alpha-Wert nach der zweiten Pilotierung knapp zu tief war (.682), wurden zur Optimierung sprachliche Anpassungen vorgenommen. Außerdem wurde das Item *NOS_W_01* angepasst, da es den Cronbachs Alpha-Wert bei einem Ausschluss leicht verbessern würde.

Die Reliabilitätsanalyse der Items der Haupterhebung zeigten einen tieferen Cronbachs Alpha-Wert als nach der zweiten Pilotierung (.565), und auch die Trennschärfen der Items *NOS_W_01* und *NOS_W_02* waren zu tief (Tabelle 32).

Tabelle 32: Anpassungen der Items Skala NOS_W

	Originalitems von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .565$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
Lik5	Sometimes things that scientists thought were right turn out to be wrong. (Harrison et al., 2015, S. 1342)	Item wurde als Idee-grundlage genommen und umformuliert	NOS_W_01 Wissenschaftliche Tatsachen können von Wissenschaftlern in Frage gestellt werden.	.48	.42
Lik5	Sometimes things that scientists thought were right turn out to be wrong. (Harrison et al., 2015, S. 1342)	Item wurde als Idee-grundlage genommen, umformuliert und auf Erfinder angepasst	NOS_W_02 Wissenschaftliche Tatsachen können von Erfindern in Frage gestellt werden.	.51	.42
Lik5	Sometimes things that scientists thought were right turn out to be wrong. (Harrison et al., 2015, S. 1342)	Item wurde als Idee-grundlage genommen, umformuliert und auf Programmierer angepasst	NOS_W_03 Wissenschaftliche Tatsachen können von Programmierern in Frage gestellt werden.	.21	.59
1	Some scientific ideas today were different in the past. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde übersetzt	NOS_W_04 Einige wissenschaftliche Ideen von heute waren in der Vergangenheit anders.	.27	.54
2	Scientific ideas can change due to advances in technology. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde übersetzt	NOS_W_05 Wissenschaftliche Ideen können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.	.21	.57

Items Pilotierung 1		r_{it}	α wenn Item weglassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2		r_{it}	α wenn Item weglassen
$\alpha = .608$					$\alpha = .682$			
NOS_W_01	Wissenschaftliche Tatsachen können von Wissenschaftlern in Frage gestellt werden.	.48	.42	Item wurde übernommen	NOS_W_01	Wissenschaftliche Tatsachen können von Wissenschaftlern in Frage gestellt werden.	.43	.70
NOS_W_02	Wissenschaftliche Tatsachen können von Erfindern in Frage gestellt werden.	.51	.42	Da die Schüler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmieren als unterschiedlich einschätzten, wurde dieses Item wieder gelöscht.	-	-	-	-
NOS_W_03	Wissenschaftliche Tatsachen können von Programmieren in Frage gestellt werden.	.21	.59	Da die Schüler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmieren als unterschiedlich einschätzten, wurde dieses Item wieder gelöscht.	-	-	-	-

Items Pilotierung 1		r_{it}	α wenn Item weglassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2		r_{it}	α wenn Item weglassen
$\alpha = .608$					$\alpha = .682$			
NOS_W_04	Einige wissenschaftliche Ideen von heute waren in der Vergangenheit anders.	.27	.54	Das Item wurde trotz tiefer Trennschäfte übernommen, da dieses aus dem Fragebogen von Shaakumeni und Csapó (2019) stammte.	NOS_W_02	Einige wissenschaftliche Ideen von heute waren in der Vergangenheit anders.	.51	.57
NOS_W_05	Wissenschaftliche Ideen können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.	.21	.57	Das Item wurde trotz tiefer Trennschäfte übernommen, da dieses aus dem Fragebogen von Shaakumeni und Csapó (2019) stammte.	NOS_W_03	Wissenschaftliche Ideen können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.	.57	.51
Items Pilotierung 2		r_{it}	α wenn Item weglassen	Bemerkung	Items Haupterhebung		r_{it}	α wenn Item weglassen
$\alpha = .682$					$\alpha = .565$			
NOS_W_01	Wissenschaftliche Tatsachen können von Wissenschaftlern in Frage gestellt werden.	.43	.70	Mit dem Ziel, den α -Wert zu verbessern, wurde das Item umformuliert, so dass es besser zu den beiden anderen Items passt.	NOS_W_01	Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen immer wieder angepasst werden.	.30	.59

Items Pilotierung 2 $\alpha = .682$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .565$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
NOS_W_02	.51	.57	Mit dem Ziel, den α -Wert zu verbessern, wurde „Ideen“ durch „Erkenntnisse“ ersetzt. Es wurde angenommen, dass die Schüler*innen sich besser etwas unter wissenschaftlichen Erkenntnissen als unter wissenschaftlichen Ideen vorstellen können.	NOS_W_02	.37	.47
NOS_W_03	.57	.51	Mit dem Ziel, den α -Wert zu verbessern, wurde „Ideen“ durch „Erkenntnisse“ ersetzt. Es wurde angenommen, dass die Schüler*innen sich besser etwas unter wissenschaftlichen Erkenntnissen als unter wissenschaftlichen Ideen vorstellen können.	NOS_W_03	.47	.33

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.7.3 Skala *Fehlermachen beim Experimentieren*

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Skala erstellt, die das Fehlermachen beim Experimentieren konkret aufgreift (*NOS_Exp*). Als Grundlage dafür wurde die Skala *Rechtfertigung* von Kremer (2010) verwendet. Diese Skala wurde als Ideengrundlage beigezogen und eine neue Skala *Fehlermachen beim Experimentieren* erstellt. Die neuen Items wurden positiv formuliert, um auch das Fehlermachen als etwas Positives darzustellen. Diese Skala wurde erst kurz vor der Haupterhebung hinzugefügt und daher nicht pilotiert. Die Skala *Fehlermachen beim Experimentieren* wies bei der Haupterhebung einen etwas zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert von .651 auf. Die Trennschärfen sind bei allen drei Items akzeptabel. Nachfolgend sind die Anpassungen und die Werte der Haupterhebung dargestellt (Tabelle 33).

Tabelle 33: Anpassungen der Items der Skala NOS_Exp

Originalitems von Kremer (2010, S. 162)	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .651$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
1	Gute Theorien stützen sich auf die Ergebnisse aus vielen verschiedenen Experimenten.	-	-	-
2	Wenn Naturwissenschaftler Experimente durchführen, legen sie im Voraus einige Aspekte der Untersuchung fest.	-	-	-
3	Es ist wichtig, eine konkrete Vorstellung zu haben, bevor man mit einem Experiment beginnt.	-	-	-
4	Für Naturwissenschaftler sind Experimente mit unerwarteten Ergebnissen wertlos.	NOS_Exp_01	.41	.63
		Fehler in Experimenten helfen Wissenschaftler*innen, Lösungen zu finden.		
5	Es ist wichtig, Experimente mehr als einmal durchzuführen, um Ergebnisse abzusichern.	-	-	-

Originalitems von Kremer (2010, S. 162)	Bemerkung	Items $\alpha = .651$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
6	Die Ideen zu naturwissenschaftlichen Experimenten kommen daher, dass man neugierig ist und darüber nachdenkt, wie etwas funktioniert.	-	-	-
7	In den Naturwissenschaften können sich neue Vorstellungen aus den eigenen Fragen und Experimenten entwickeln.	NOS_Exp_02	.47	.54
	Das Item wurde als Ideengrundlage für die Erstellung der neuen Skala genommen. Es wurde auf das Fehlermachen beim Experimentieren fokussiert und die Fehler positiv dargestellt.	Aus fehlerhaften Experimenten lernen Wissenschaftler*innen.		
8	In den Naturwissenschaften kann es mehrere Wege geben, um Vorstellungen zu überprüfen.	-	-	-
9	Ein Experiment ist ein guter Weg um herauszufinden, ob etwas wahr ist.	NOS_Exp_03	.51	.50
	Das Item wurde als Ideengrundlage für die Erstellung der neuen Skala genommen. Es wurde auf das Fehlermachen beim Experimentieren fokussiert und die Fehler positiv dargestellt.	Durch Fehler in Experimenten finden Wissenschaftler*innen andere Lösungswege.		

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.7.4 Skala *Subjektivität*

Um den NOS-Aspekt *Subjektivität* zu erheben, wurde die Skala *Subjective*, die aus drei Items von Shaakumeni und Csapó (2019) besteht, übersetzt und angepasst. Dieser Skala wurde ein Item von Harrison et al. (2015) aus der Skala *Wissenschaft ist ein menschliches Unterfangen* hinzugefügt. Da in der ersten Pilotierung zwischen Wissenschaftler*innen, Erfinder*innen und Programmierer*innen unterschieden wurde, wurde das dritte Item von Shaakumeni und Csapó (2019) auch in dieser Skala auf diese drei Personengruppen angepasst. Die Reliabilitätsprüfung nach der ersten Pilotierung zeigte einen zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert von .606. Da das Item *NOS_Subj_01* eine tiefe Trennschärfe hatte und von einer anderen Skala hinzugefügt wurde, wurde dieses Item für die zweite Pilotierung gelöscht. Das Item *NOS_Subj_02* hatte eine tiefe und negative Trennschärfe. Da es aber aus der Ursprungsskala von Shaakumeni und Csapó (2019) übernommen und lediglich übersetzt wurde, wurde dieses Item für die zweite Pilotstudie beibehalten. Es wurde leicht umformuliert. Das Item *NOS_Subj_03* wurde leicht angepasst. Da auch bei den anderen Skalen *NOS_Met* und *NOS_W* die Items mit Erfinder*innen und Programmierer*innen gelöscht wurden, wurden diese Ergänzungen auch bei dieser Skala gelöscht.

Da die Skala *Subjektivität* nach der zweiten Pilotierung einen sehr schlechten Cronbachs Alpha-Wert aufwies (.27) und auch alle Trennschärfen zu tief waren, wurde der Fokus nur auf die Kreativität gelegt. Daher wurde aus der Skala *NOS_Subj* die Skala *NOS_Subj_K*. Das Item *NOS_Subj_03* wurde übernommen. Ein weiteres Items von Kremer (2010) wurde wörtlich hinzugefügt und ein weiteres wurde angelehnt an Kremer (2010) umformuliert. Bei der Haupterhebung wies die Skala *NOS_Subj_K* einen zufriedenstellenden Cronbachs Alpha-Wert von .744 und gute Trennschärfen auf (Tabelle 34).

Tabelle 34: Anpassungen der Items der Skala NOS_Subj

	Originalitems von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .606$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
Lik4	Scientific knowledge is only useful to scientists. (Harrison et al., 2015, S. 1342)	Item wurde übersetzt	NOS_Subj_01 Wissenschaftliche Erkenntnisse sind nur für Wissenschaftler nützlich.	.06	.67
1	Scientists can look at the same evidence or set of data and come up with different conclusions. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde übersetzt	NOS_Subj_02 Wissenschaftler können dieselben Daten betrachten und unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen.	-.04	.67
2	Scientists' backgrounds and beliefs influence their work. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde übersetzt	NOS_Subj_03 Die Hintergründe und Überzeugungen der Wissenschaftler beeinflussen ihre Arbeit.	.35	.56
3	Scientists use their creativity to analyze data. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde übersetzt	NOS_Subj_04 Wissenschaftler nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	.47	.50
3	Scientists use their creativity to analyze data. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde auf Erfinder angepasst	NOS_Subj_05 Erfinder nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	.56	.46
3	Scientists use their creativity to analyze data. (Shaakumeni & Csapó, 2019, S. 41)	Item wurde auf Programmierer angepasst	NOS_Subj_06 Programmierer nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	.65	.42

Items Pilotierung 1 $\alpha = .606$		r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .27$		r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_	Wissenschaftliche	.06	.67	Da das Item aus einer an- deren Skala übernommen wurde und eine extrem tiefe Trennschärfe hatte, wurde es gelöscht.	-	-	-	-
Subj_01	Erkenntnisse sind nur für Wissenschaftler nützlich.							
NOS_	Wissenschaftler		.67	Da das Item aus der Ursprungsskala über- nommen und lediglich übersetzt wurde, wurde es aufgrund der tiefen Trennschärfe umformu- liert.	NOS_	Wissenschaftler zie- hen aus denselben Daten unterschied- liche Schlussfolge- rungen.	.13	.22
Subj_02	können dieselben Daten betrachten und unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen.	-.04			Subj_01			
NOS_	Die Hintergründe	.35	.56	Eine Aufzählung im Item wurde als nicht optimal empfunden. „Hinter- gründe“ wurde gelöscht, da „Überzeugungen“ für die Schüler*innen besser verständlich war.	NOS_	Die Überzeugungen der Wissenschaftler beeinflussen ihre Arbeit	.27	-.12
Subj_03	und Überzeugungen der Wissenschaftler beeinflussen ihre Arbeit.				Subj_02			

Items Pilotierung 1		Items Pilotierung 2	
$\alpha = .606$	r_{it}	α wenn Item weglassen	r_{it}
NOS_04	.47	.50	.04
Wissenschaftler nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.		Item wurde übernommen	
NOS_05	.56	.46	-.04
Erfinder nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.		Da die Schüler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmierern als unterschiedlich einschätzten, wurde dieses Item wieder gelöscht.	
NOS_06	.65	.42	-.04
Programmierer nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.		Da die Schüler*innen die Arbeitsweisen von Wissenschaftlern, Erfindern und Programmierern als unterschiedlich einschätzten, wurde dieses Item wieder gelöscht.	

Items Pilotierung 2 $\alpha = .606$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung von Shaakumeni und Csapó (2019) und Kremer (2010) $\alpha = .744$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
NOS_03	.04	.40	Da die Trennschärfe aller Items schlecht waren, wurde der Fokus auf die Kreativität gelegt. Dieses Item wurde daher übernommen.	NOS_Subj_K_01 Wissenschaftler*innen nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	.52	.71
-	-	-	Ein zweites Item wurde angelehnt an Kremer (2010) formuliert.	NOS_Subj_K_02 Das wissenschaftliche Wissen entsteht dank der Kreativität von Wissenschaftler*innen.	.60	.62
-	-	-	Ein drittes Item wurde von Kremer (2010) übernommen.	NOS_Subj_K_03 Wissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität.	.59	.64

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.7.5 Skala *Kulturelle Elemente der Wissenschaft*

Um den Aspekt der *kulturellen Elemente der Naturwissenschaften* zu untersuchen, wurde die Skala *sozial-kulturell eingebettete Naturwissenschaftlicher Erkenntnisse* (SC) von Deng et al. (2014) übernommen und übersetzt. Da der Cronbachs Alpha-Wert nach der ersten Pilotierung bereits zufriedenstellend war und auch die Trennschärfen gut waren, wurde die Skala ohne Anpassungen für die zweite Pilotierung übernommen. Nach der zweiten Pilotierung war der Cronbachs Alpha-Wert aber zu tief. Auch die Trennschärfe des Items von *NOS_Kult_01* war zu tief, und die Trennschärfe des Items *NOS_Kult_03* war knapp zu tief. Daher wurde die Skala für die Haupterhebung überarbeitet. Es wurde entschieden, den Aspekt des *Einflusses der Wirtschaft* beizubehalten und einen Schwerpunkt darauf zu legen. Daher wurde die Skala neu *NOS_Kult_W* genannt. Das Item *NOS_Kult_01* wurde umformuliert, und die Items *NOS_Kult_02*, *NOS_Kult_03*, *NOS_Kult_04* wurden gestrichen. Um eine Skala aus drei Items zu bilden, wurden zwei weitere Items formuliert. Die Reliabilitätsanalyse der Items aus der Haupterhebung zeigten einen schlechten Cronbachs Alpha-Wert von .483 und bei allen Items zu tiefe Trennschärfen (Tabelle 35).

Tabelle 35: Anpassungen der Items der Skala NOS_Kult

Originalitems von Deng, Chai, Tsai und Lin (2014, S. 850)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .758$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
SC1 The development of scientific knowledge can be affected by the economy.	Das Item wurde übersetzt und etwas einfacher formuliert.	NOS_ Kult_01 Wirtschaft beeinflusst die Wissenschaft.	.50	.75
SC2 The development of scientific knowledge can be affected by culture.	Das Item wurde übersetzt und etwas einfacher formuliert.	NOS_ Kult_02 Kultur beeinflusst die Wissenschaft.	.75	.60
SC3 The development of scientific knowledge can be affected by religion.	Das Item wurde übersetzt und etwas einfacher formuliert.	NOS_ Kult_03 Religion beeinflusst die Wissenschaft.	.45	.76
SC4 The development of scientific knowledge can be affected by politics.	Das Item wurde übersetzt und etwas einfacher formuliert.	NOS_ Kult_04 Politik beeinflusst die Wissenschaft.	.57	.70
Items Pilotierung 1 $\alpha = .758$	Bemerkung	Items Pilotierung 2 $\alpha = .637$	r_{it}	α wenn Item weggelassen
NOS_ Kult_01 Wirtschaft beeinflusst die Wissenschaft.	Item wurde übernommen	NOS_ Kult_01 Wirtschaft beeinflusst die Wissenschaft.	.18	.72
NOS_ Kult_02 Kultur beeinflusst die Wissenschaft.	Item wurde übernommen	NOS_ Kult_02 Kultur beeinflusst die Wissenschaft.	.61	.43
NOS_ Kult_03 Religion beeinflusst die Wissenschaft.	Item wurde übernommen	NOS_ Kult_03 Religion beeinflusst die Wissenschaft.	.33	.63
NOS_ Kult_04 Politik beeinflusst die Wissenschaft.	Item wurde übernommen	NOS_ Kult_04 Politik beeinflusst die Wissenschaft.	.60	.42

Items Pilotierung 2 $\alpha = .637$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Items Haupterhebung $\alpha = .483$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
NOS_ Kult_01	.18	.72	Der Einfluss der Wirtschaft sollte beibehalten werden. Das Item wurde angepasst.	NOS_ Kult_W_01	.35	.31
NOS_ Kult_02	.61	.43	Item wurde gestrichen		-	-
NOS_ Kult_03	.33	.63	Item wurde gestrichen		-	-
NOS_ Kult_04	.60	.42	Item wurde gestrichen		-	-
-	-	-	Ein zweites Item wurde frei formuliert.	NOS_ Kult_W_02	.24	.47
-	-	-	Ein drittes Item wurde frei formuliert.	NOS_ Kult_W_03	.32	.35

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.8 Pilotierung Skala *positive Affekte im Smartfeld*

Zur Optimierung und Weiterentwicklung des *Workshops Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* wurde die Skala *positive Affekte im teutolab*, die Spaß und Flow erhebt, von Brandt (2005) ausgewählt und auf den Besuch im *Smartfeld* angepasst. Auch diese Skala wurde wie die oben beschriebenen Skalen zweimal mit je vier Klassen pilotiert.

Da die angepasste Skala *positive Affekte im Smartfeld* bereits nach der ersten Pilotierung gute Werte bei der Reliabilitätsprüfung aufzeigte und nichts mehr an der Formulierung geändert wurde, sind nachfolgend nur die Werte der Haupterhebung dargestellt. Es wurden alle sieben Items von Brandt (2005) übernommen und angepasst. Die Skala wies bei der Haupterhebung einen Cronbachs Alpha-Wert von .902 auf. Zu den sieben geschlossenen Fragen wurden noch zwei offene Fragen formuliert, um zu erfahren, was den Schüler*innen im *Smartfeld* besonders Spaß gemacht hat und was ihnen nicht gefallen hat (Tabelle 36).

Tabelle 36: Anpassungen der Items der Skala *positive Affekte im Smartfeld*

Originalitem von Brandt (2005, S. 213)	Bemerkung	Definitive Items	r_{it}	α wenn Item weggelassen
1 Ich fand den Besuch im teutolab sehr interessant.	Die Phrase „teutolab“ wurde durch „Smartfeld“ ersetzt.	SPA_flow_01 Ich fand den Besuch im Smartfeld sehr interessant.	.76	.88
2 Während der Experimente verging die Zeit wie im Flug.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, wurde allgemein nach dem Workshop gefragt. Daher wurde „Experimente“ durch „Workshop“ ersetzt.	SPA_flow_02 Während des Workshops verging die Zeit wie im Flug.	.73	.89
3 Die Experimente waren genau richtig. Nicht zu leicht und nicht zu schwer.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, wurde nach den Aufgaben gefragt. Daher wurde „Experimente“ durch „Aufgaben“ ersetzt.	SPA_flow_03 Die Aufgaben waren genau richtig, nicht zu leicht und nicht allzu schwer.	.62	.90
4 Ich würde das teutolab gerne noch einmal besuchen.	Die Phrase „teutolab“ wurde durch „Smartfeld“ ersetzt.	SPA_flow_04 Ich würde das Smartfeld gerne noch einmal besuchen.	.77	.88
5 Im teutolab habe ich mich gelangweilt. (-)	Die Phrase „teutolab“ wurde durch „Smartfeld“ ersetzt.	SPA_flow_05 Im Smartfeld habe ich mich gelangweilt. (-)	.71	.89

Originalitem von Brandt (2005, S. 213)	Bemerkung	Definitive Items $\alpha = .902$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
6	Während der Experimente fiel es mir leicht, gut aufzupassen.	SPA_ flow_06	Während des Workshops fiel es mir leicht, gut aufzupassen. .64	.90
7	Das Experimentieren macht im teutolab Spaß.	SPA_ flow_07	Das Programmieren macht im Smartfield Spaß. .76	.88
-	-	SPA_ flow_08	Offene Frage Was hat dir im Smartfield besonders gut gefallen?	
-	-	SPA_ flow_09	Offene Frage Was hat dir im Smartfield nicht gefallen?	

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.2.9 Pilotierung Skala *Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien*

Eine weitere Skala zur Optimierung und Weiterentwicklung des *Workshops Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien*, die Skala *Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien* wurde von Brandt (2005) übernommen, angepasst und zweimal mit je vier Klassen pilotiert. Zu Beginn wurden alle Items von Brandt (2005) übernommen und auf den Workshop angepasst. Da im Workshop naturwissenschaftliche Problemstellungen mithilfe der Programmierung gelöst wurden, wurde nach dem Item von Brandt (2005, S. 214) *Durch das Lernen und Experimentieren im teutolab ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden* nicht nur gefragt, ob das Interesse an Naturwissenschaften, sondern auch ob das Interesse an Informatik größer geworden ist.

Die ersten beiden Items wurden nach der ersten Pilotierung aufgrund der knappen bzw. zu tiefen Trennschärfe und der umständlichen Formulierung aus dem Fragebogen ausgeschlossen. Bei der Überarbeitung des Fragebogens nach der ersten Pilotierung wurde das Item *REL_Inh_07* versehentlich gelöscht. Dieses Item wurde für die Haupterhebung wieder eingefügt. Die für diese Studie verwendete Skala *Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien* enthielt bei der Haupterhebung noch fünf Items und wies einen Cronbachs Alpha-Wert von .849 auf (Tabelle 37).

Tabelle 37: Anpassungen der Items der Skala Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien

Originalitems von Brandt (2005, S. 213-214)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .838$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
1 Die teutolab Experimente verdeutlichen gut, welche praktischen Probleme man mit Chemie lösen kann.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, wurde „teutolab Experimente“ durch „Programmieraufgaben“ ersetzt.	REL_01 Inh_01 Die Programmieraufgaben verdeutlichen gut, welche praktischen Probleme man mit Informatik lösen kann.	.42	.84
2 Mit chemischen Experimenten wie im teutolab kann man viele Vorgänge in der Natur oder aus dem Alltag erklären.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, wurde „chemische Experimente“ durch „Programmieraufgaben“ ersetzt. Außerdem wurde „teutolab“ durch „Smartfeld“ ersetzt. Da mit den gestellten Programmieraufgaben keine Vorgänge aus der Natur erklärt werden konnten, sondern Funktionsweisen von technischen Geräten, wurde dieser Teil angepasst.	REL_02 Inh_02 Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld kann man viele Funktionsweisen von technischen Geräten aus dem Alltag erklären.	.36	.85
3 Ich habe im teutolab etwas gelernt, das ich unmittelbar oder später brauchen kann.	Die Phrase „teutolab“ wurde durch „Smartfeld“ ersetzt.	REL_03 Inh_03 Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, das ich unmittelbar oder später brauchen kann.	.76	.79

Originalitems von Brandt (2005, S. 213-214)	Bemerkung	Items Pilotierung 1 $\alpha = .838$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
4 Ich habe im teutolab etwas gelernt, das für mich wichtig ist.	Die Phrase „teutolab“ wurde durch „Smartfeld“ ersetzt.	REL_ Inh_04 Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, das für mich wichtig ist.	.79	.78
5 Durch das Lernen und Experimentieren im teutolab ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, sondern verschiedene Problemstellungen mithilfe der Programmierung gelöst wurden, wurde „Experimentieren“ durch „Programmieren“ ersetzt. Außerdem wurde „teutolab“ durch „Smartfeld“ ersetzt.	REL_ Inh_05 Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Informatik größer geworden.	.71	.80
- -	Da es sich im Workshop um naturwissenschaftliche Problemstellungen handelte, die mithilfe der Programmierung gelöst wurden, wurde auch danach gefragt, ob das Interesse an Naturwissenschaften größer geworden ist.	REL_ Inh_06 Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.	.51	.83
6 Mit Experimenten wie im teutolab lassen sich viele praktische Probleme lösen, z. B. wenn man Produkte herstellen oder verbessern oder die Umweltverschmutzung bekämpfen will.	Da keine Experimente im klassischen Sinne durchgeführt wurden, sondern verschiedene Problemstellungen mithilfe der Programmierung gelöst wurden, wurde „Experimente“ durch „Programmieraufgaben“ ersetzt. Außerdem wurde „teutolab“ durch „Smartfeld“ ersetzt. Das Aufzählen von Beispielen wurde weggelassen.	REL_ Inh_07 Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld lassen sich viele praktische Probleme lösen.	.62	.81

Items Pilotierung 1		Items Pilotierung 2	
$\alpha = .838$	r_{it}	$\alpha = .785$	r_{it}
	α wenn Item weglassen		α wenn Item weglassen
REL_Inh_01	.42		
Die Programmieraufgaben verdeutlichen gut, welche praktischen Probleme man mit Informatik lösen kann.			
REL_Inh_02	.36		
Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld kann man viele Funktionsweisen von technischen Geräten aus dem Alltag erklären.			
REL_Inh_03	.76	REL_Inh_01	.25
Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, das ich unmittelbar oder später brauchen kann.			
REL_Inh_04	.79	REL_Inh_02	.53
Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, dass für mich wichtig ist.			
			.87
			.66

Items Pilotierung 1	r_{it}	α wenn Item weglassen	Bemerkung	Items Pilotierung 2	r_{it}	α wenn Item weglassen
$\alpha = .838$						
REL_Inh_05	.71	.80	Item ohne weitere Anpassungen übernommen	REL_Inh_03	.64	.68
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Informatik größer geworden.						
Item ohne weitere Anpassungen übernommen						
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Informatik größer geworden.						
$\alpha = .785$						
REL_Inh_06	.51	.83	Item ohne weitere Anpassungen übernommen	REL_Inh_04	.61	.66
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.						
Item ohne weitere Anpassungen übernommen						
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.						
REL_Inh_07	.62	.81	Bei der Überarbeitung des Fragebogens von Pilot 1 wurde dieses Item aus Versehen gelöscht.	-	-	-
Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld lassen sich viele praktische Probleme lösen.						

Items Pilotierung 2 $\alpha = .785$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Definitive Items Haupt- erhebung $\alpha = .849$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
REL_ Inh_01	.25	.87	Da α zufriedenstellend war und dieses Item in Pilotierung 1 eine gute Trennschärfe hatte, wurde das Item trotz der zu tiefen Trennschärfe in Pilotierung 2 ohne weitere Anpassungen übernommen.	REL_ Inh_01	.70	.81
REL_ Inh_02	.53	.66	Item ohne weitere Anpassun- gen übernommen	REL_ Inh_02	.75	.80
REL_ Inh_03	.64	.68	Item ohne weitere Anpassun- gen übernommen	REL_ Inh_03	.74	.80

Items Pilotierung 2 $\alpha = .785$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen	Bemerkung	Definitive Items Haupt- erhebung $\alpha = .849$	r_{it}	α wenn Item weg- gelassen
REL_ Inh_04	.61	.66	Item ohne weitere Anpassun- gen übernommen	REL_ Inh_04	.60	.84
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.						
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.						
-	-	-	Bei der Überarbeitung des Fragebogens von Pilot eins wurde dieses Item aus Ver- sehen gelöscht. Item wurde für Hauptehebung wieder eingefügt.	REL_ Inh_05	.52	.85
Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld lassen sich viele praktische Probleme lösen.						

Anmerkungen: Trennschärfe (r_{it}), Cronbachs Alpha (α)

5.3 Statistische Analysen Fragebogen

5.3.1 Übersicht über deskriptive und interferenzstatistische Analysen

5.3.1.1 Verbesserung der Skalenreliabilität der NOS-Skalen

Die Erstellung der NOS-Skalen für die Sekundarstufe I bereitete, wie in Kapitel 5.2.7 dargestellt, einige Schwierigkeiten. Die Skalen *wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden (Arbeitsweisen – NOS_Met_A, Ergebnisse – NOS_Met_E)*, *Wissen ist vorläufig, aber beständig (NOS_W)*, *Subjektivität (NOS_Subj_K)* und *kulturelle Elemente der Wissenschaft (NOS_Kult_W)* wurden zweimal pilotiert und angepasst, die Skala *Fehlermachen beim Experimentieren (NOS_Exp)* wurde kurz vor der Haupterhebung erstellt und daher ohne Pilotierung eingesetzt.

Die sechs bei der Haupterhebung eingesetzten NOS-Skalen *NOS_Met_A*, *NOS_Met_E*, *NOS_W*, *NOS_Exp*, *NOS_Subj_K* und *NOS_Kult_W* wiesen bei der Reliabilitätsprüfung von Pre, Post- und Follow-up-Test mehrheitlich zufriedenstellende Cronbachs Alpha-Werte ($\alpha \geq .70$), aber auch einige zu tiefe Werte auf (vgl. Bühner, 2011) (Tabelle 38).

Tabelle 38: Cronbachs Alpha der NOS-Skalen Pretest, Posttest, Follow-up-Test

Skala	α Pretest	α Posttest	α Follow-up-Test
NOS_Met_A	0.77	0.68	0.71
NOS_Met_E	0.64	0.72	0.70
NOS_W	0.57	0.59	0.63
NOS_Exp	0.65	0.64	0.73
NOS_Subj_K	0.74	0.76	0.70
NOS_Kult_W	0.48	0.58	0.60

Anmerkungen: *NOS_Met_A* = wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden – Arbeitsweisen; *NOS_Met_E* = wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden – Arbeitsweisen; *NOS_W* = Wissen ist vorläufig, aber beständig; *NOS_Exp* = Fehlermachen beim Experimentieren; *NOS_Subj_K* = Subjektivität – Kreativität; *NOS_Kult_W* = Kulturelle Elemente der Wissenschaft – Wirtschaft

Zur Verbesserung der Skalenreliabilität wurde mit *Mplus 8* eine explorative Faktorenanalyse mit allen NOS-Items durchgeführt (Tabelle 39). Mit der explorativen Faktorenanalyse wurde geprüft, ob sich die Items anders zu Skalen zusammensetzen lassen. Die explorative Faktorenanalyse schlug fünf Faktoren vor ($\chi^2 = 107.73$, $df = 73$, $p = 0.005$, $\chi^2/df = 1.48$, $RMSEA = 0.042$, $CFI = 0.97$ and $TLI = 0.93$). Eine Beschreibung zu den Kennwerten ist im Kapitel 5.3.2 zu finden.

Tabelle 39: Explorative Faktorenanalyse mit allen NOS-Items

	1	2	3	4	5
NOS_Met_A_01	0.739*	-0.043	-0.007	-0.053	0.043
NOS_Met_A_02	0.815*	0.039	0.029	-0.115	0.019
NOS_Met_A_03	0.585*	-0.265*	0.008	0.015	0.076
NOS_Met_E_01	0.502*	0.048	-0.364*	0.140	-0.059
NOS_Met_E_02	0.330*	-0.022	-0.259*	-0.001	0.031
NOS_Met_E_03	0.390*	-0.060	-0.285*	0.078	-0.054
NOS_W_01	-0.151	-0.029	0.442*	-0.028	0.418*
NOS_W_02	-0.112	0.694*	-0.019	-0.095	0.282
NOS_W_03	0.202	0.463	0.267*	0.102	0.181
NOS_Exp_01	-0.074	0.016	0.408*	0.218*	0.092
NOS_Exp_02	0.100	0.367*	0.406*	0.036	-0.050
NOS_Exp_03	0.087	0.260*	0.620*	0.072	-0.065
NOS_Subj_K_01	-0.066	0.036	0.200*	0.536*	0.014
NOS_Subj_K_02	0.033	-0.077	-0.024	0.818*	0.097
NOS_Subj_K_03	-0.008	0.263	0.020	0.616*	-0.031
NOS_Kult_W_01	0.086	-0.003	0.052	0.046	0.554*
NOS_Kult_W_02	0.177*	-0.041	0.023	0.069	0.314*
NOS_Kult_W_03	0.056	0.054	-0.270*	0.053	0.565*

Anmerkung: geomorfologisch gedrehte Ladungen; *Signifikant auf 5%-Niveau; *NOS_Met_A* = wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden – Arbeitsweisen; *NOS_Met_E* = wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden – Arbeitsweisen; *NOS_W* = Wissen ist vorläufig, aber beständig; *NOS_Exp* = Fehlermachen beim Experimentieren; *NOS_Subj_K* = Subjektivität – Kreativität; *NOS_Kult_W* = Kulturelle Elemente der Wissenschaft – Wirtschaft

Die Items der Skalen *NOS_Met_A* und *NOS_Met_E* laden alle am stärksten auf den Faktor 1, was bedeutet, dass diese beiden Skalen zu einer Skala zusammengefasst werden können. Bei der Skala *NOS_W* laden die zwei Items *NOS_W_01* und *NOS_W_03* auf den Faktor 3, wobei *NOS_W_01* auch auf den Faktor 5 lädt. Das Item *NOS_W_02* lädt auf den Faktor 2. Die drei Items der Skala *NOS_Exp* laden am stärksten auf den Faktor 3. Auch alle Items der Skala *NOS_Subj_K* laden auf einen gemeinsamen Faktor, den Faktor 4. Die drei Items der Skala *NOS_Kult_W* laden am stärksten auf den Faktor 5.

Aufgrund der explorativen Faktorenanalyse wurden die beiden Skalen *NOS_Met_A* und *NOS_Met_E* zu *NOS_Met_A_E* zusammengefasst. Die Skalen *NOS_Exp*, *NOS_Subj_K* und *NOS_Kult_W* wurden, wie ursprünglich erstellt, einzeln übernommen. Obwohl das Item *NOS_W_02* der Skala *NOS_W* stärker auf einen anderen Faktor lädt als die anderen beiden Items der Skala, wurde dennoch die vollständige Skala *NOS_W* mit den drei Items für die weitere Analyse übernommen.

Es wurde weiter versucht, in einem Strukturgleichungsmodell das Konstrukt NOS aus den nun fünf erhaltenen Skalen darzustellen (Abbildung 15). Die konfirmatorische Faktorenanalyse gab dabei aber keine Informationen zum Modell-Fit aus. Dies bedeutet, dass mit den fünf Skalen nicht wie erhofft das Konstrukt NOS gemessen werden kann. Betrachtet man das Strukturgleichungsmodell mit allen fünf Skalen, sieht man, dass die Skalen *NOS_W*, *NOS_Exp* und *NOS_Subj_K* stark auf das Konstrukt NOS laden, die zusammengefasste Skala *NOS_Met_A_E* aber nur sehr schwach. Außerdem sieht man, dass die Skala *NOS_Kult_W* auch zu schwach auf das Konstrukt lädt. Im Strukturgleichungsmodell sind auch die Ladungen der einzelnen Items auf die Skalen ersichtlich. Da *NOS_W_01* mit .41 auf die Skala *NOS_W* lädt, wird dieses Item weiterhin in der Skala belassen.

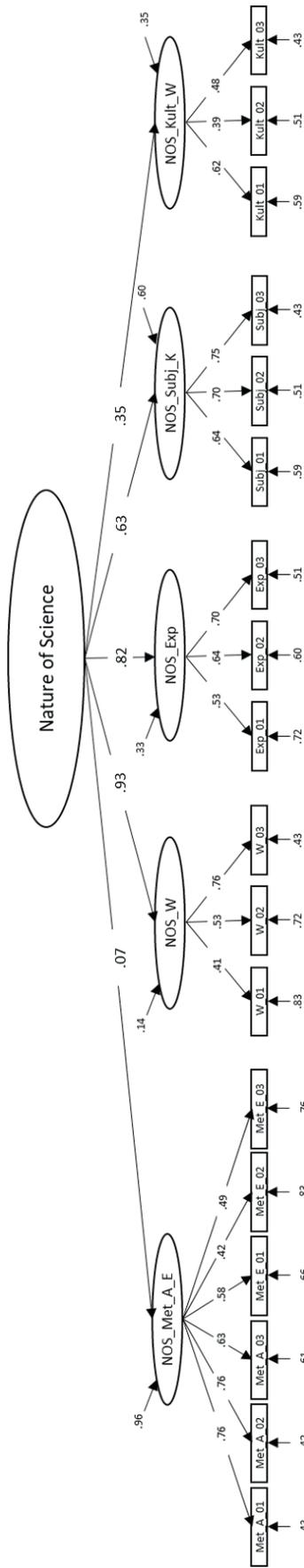


Abbildung 15: Konfirmatorische Faktoranalyse Konstrukt NOS

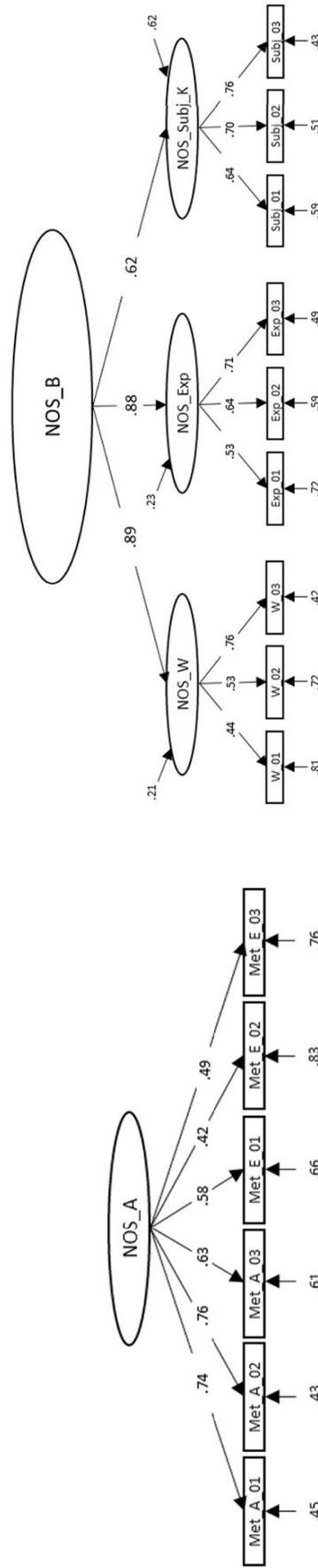


Abbildung 16: Subfaktor NOS_A

Abbildung 17: Subfaktor NOS_B

Es wurde nun das Konstrukt NOS in die beiden Subfaktoren *NOS_A*, bestehend aus den Items von *NOS_Met_A* und *NOS_Met_E* (Abbildung 16), und *NOS_B*, bestehend aus den Items von *NOS_W*, *NOS_Exp* und *NOS_Subj_K* (Abbildung 17), aufgeteilt. Der Subfaktor *NOS_A* beinhaltet Aspekte von *Denk- und Arbeitsweisen*, der Subfaktor *NOS_B* Aspekte der *Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens*, *Fehler als Werkzeuge in Experimenten* und *die Kreativität als Element der Naturwissenschaften*. Die beiden Subfaktoren zeigten akzeptable bzw. gute Fit-Werte (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016):

NOS_A: $\chi^2 = 34.45$, $df = 9$, $p = 0.0001$, $\chi^2/df = 3.83$, RMSEA = 0.10, CFI = 0.89 und TLI = 0.82

NOS_B: $\chi^2 = 40.30$, $df = 24$, $p = 0.02$, $\chi^2/df = 1.68$, RMSEA = 0.05, CFI = 0.96 und TLI = 0.94

Berechnet man eine Korrelation zwischen *NOS_A* und *NOS_B*, sieht man, dass diese beiden Subfaktoren schwach negativ miteinander korrelieren (Abbildung 18). Die negative Korrelation bedeutet, dass Schüler*innen bei *NOS_A* eher negative und bei *NOS_B* eher positive Antworten geben. Würde man *NOS_A* umpolen, hätte man eine positive, aber immer noch gleich schwache Korrelation der beiden Subfaktoren. Dies bestätigt noch einmal, dass NOS mit den beiden Subfaktoren unterschiedlich gemessen werden kann, es aber keinen 2nd Faktor aus den fünf Skalen gibt.

Da bei der ersten Fragestellung untersucht werden soll, welchen Einfluss das Verständnis von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern hat, wurden Korrelationen zwischen der Fehlerlernorientierung und den Subfaktoren *NOS_A* und *NOS_B* berechnet. Da zwischen der Fehlerlernorientierung und dem Subfaktor *NOS_A* eine sehr schwache negative und nicht signifikante Korrelation bestand ($\beta = -.01$, $p = .89$), zwischen der Fehlerlernorientierung und dem Subfaktor *NOS_B* aber eine starke und signifikante Korrelation ($\beta = .58$, $p < 0.001$) nachzuweisen war, wurde zur Klärung der Forschungsfrage 1 im Folgenden nur noch mit dem Subfaktor *NOS_B* weitergearbeitet. Der Subfaktor *NOS_B*

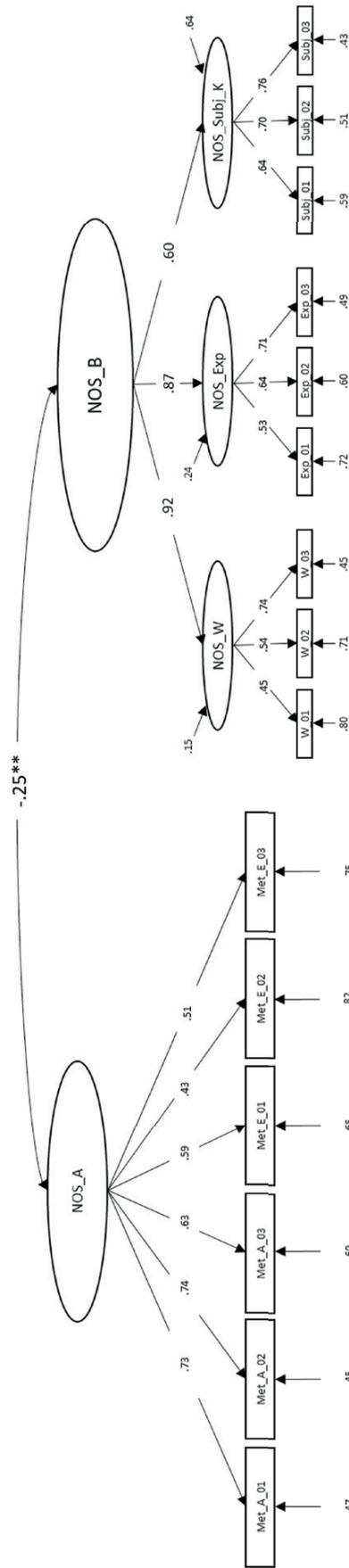


Abbildung 18: Korrelation zwischen den beiden Subfaktoren NOS_A und NOS_B

wies sowohl beim Pretest als auch beim Posttest und Follow-up-Test gute Modell-Fit-Werte auf (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016):

Modell-Fit-Wert *NOS_B* Pretest:

$\chi^2 = 40.29$, $df = 24$, $p = 0.02$, $\chi^2/df = 1.68$, RMSEA = 0.05, CFI = 0.95 und TLI = 0.93

Modell-Fit-Wert *NOS_B* Posttest:

$\chi^2 = 29.13$, $df = 24$, $p = 0.21$, $\chi^2/df = 1.21$, RMSEA = 0.03, CFI = 0.98 und TLI = 0.97

Modell-Fit-Wert *NOS_B* Follow-up-Test:

$\chi^2 = 34.93$, $df = 24$, $p = 0.07$, $\chi^2/df = 1.46$, RMSEA = 0.04, CFI = 0.97 und TLI = 0.96

5.3.1.2 Messinvarianzprüfung von *NOS_B* über die Zeit

Da das Messmodell *NOS_B* neu zusammengestellt und zu den drei Zeitpunkten t_1 (Pretest), t_2 (Posttest) und t_3 (Follow-up-Test) eingesetzt wurde, wurde im Folgenden die Messinvarianz über die Zeit geprüft (Tabelle 40). Dies dient der Überprüfung, ob das Messmodell *NOS_B* zu allen drei Zeitpunkten das gleiche Konstrukt misst (Kleinke et al., 2017).

Verglichen wurde zuerst, ob das Messmodell *NOS_B* beim Pre- und beim Posttest dasselbe misst. Als Erstes wurde eine konfigurale Messinvarianz durchgeführt, bei welcher die Faktorenstrukturen gleichgesetzt werden (Bialosiewicz, Murphy & Berry, 2013). „Konfigurale Messinvarianz liegt vor, wenn die Anzahl an Faktoren und das Ladungsmuster zwischen manifesten und latenten Variablen in den Substichproben identisch sind“ (Kleinke et al., 2017, S. 78). Danach wurde eine metrische Messinvarianz durchgeführt, bei der die Faktorenladungen zwischen den zwei Zeitpunkten identisch sein müssen. Zuletzt wurde eine skalare Messinvarianz durchgeführt, um zu überprüfen, ob auch die Interzepts der manifesten Variablen (Items) identisch sind (Bialosiewicz et al., 2013; Kleinke et al., 2017). Da $\Delta \chi^2$ nicht signifikant war, misst das Modell *NOS_B* beim Pre- und Posttest dasselbe. Es liegt keine Messvarianz vor.

Tabelle 40: Ergebnisse Messinvarianzprüfung *NOS_B* über t_1 (Pretest) und t_2 (Posttest)

Parameter müssen gleich sein	χ^2	<i>df</i>	CFI	TLI	RMSEA	$\Delta \chi^2$	Δ CFI
1. Gleichheit der Faktorenstruktur (konfigurale Messinvarianz)	210.731	126	0.937	0.924	0.05	–	–
2. Faktorenladungen (metrische Messinvarianz)	219.489	132	0.935	0.925	0.05	n.s.	0.002
3. Interzepts (skalare Messinvarianz)	225.535	138	0.935	0.928	0.048	n.s.	0

Anmerkung: n. s. = nicht signifikant

Obwohl angenommen wurde, dass auch beim Follow-up-Test dasselbe mit *NOS_B* gemessen wird, wurde zur Überprüfung eine Messinvarianzprüfung von Posttest und Follow-up-Test durchgeführt (Tabelle 41). Da auch hier $\Delta \chi^2$ nicht signifikant war, maß das Modell *NOS_B* beim Post- und Follow-up-Test dasselbe. Es lag keine Messvarianz vor.

Tabelle 41: Ergebnisse Messinvarianzprüfung *NOS_B* über t_2 (Posttest) und t_3 (Follow-up-Test)

Parameter müssen gleich sein	χ^2	<i>df</i>	CFI	TLI	RMSEA	$\Delta \chi^2$	Δ CFI
1. Gleichheit der Faktorenstruktur (konfigurale Messinvarianz)	203.764	128	0.937	0.925	0.047	–	–
2. Faktorenladungen (metrische Messinvarianz)	212.507	134	0.935	0.926	0.047	n.s.	-0.002
3. Interzepts (skalare Messinvarianz)	215.599	140	0.937	0.931	0.045	n.s.	-0.002

Anmerkung: n. s. = nicht signifikant

5.3.1.3 Prüfung der Skalen auf Ausreißer und Extremwerte

Die Items der Skalen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*, *Fehlerangst* und *Verständnis von NOS-Aspekten* wurden mit der Software für statistische Datenanalyse SPSS 23 (Statistical Package für Social Sciences) auf Ausreißer und Extremwerte geprüft.

Als Ausreißer werden alle Werte bezeichnet, welche um mindestens das 1.5-Fache von den Interquartilswerten abweichen (Tabachnick & Fidell, 2019). Extremwerte weichen um mehr als das 3-Fache von den Interquartilswerten ab (Leonhart, 2017). Die Werte der Ausreißer bzw. Extremwerte wurden zur Mitte hin angepasst. Durch die Anpassungen konnten die Antworten beibehalten werden, ohne als Ausreißer bzw. Extremwerte zu erscheinen. Bewusst falsch ausgefüllte Fragebögen wurden nicht erkannt. Es gab jedoch vereinzelt Schüler*innen, die den Fragebogen verfrüht beendeten. Bei diesen Schüler*innen wurden die nicht ausgefüllten Fragen bzw. nicht gerateten Items als fehlende Werte belassen.

5.3.1.4 Prüfung der Skalen auf Normalverteilung

Die Skalen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*, *Fehlerangst* und *Verständnis von NOS-Aspekten* wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests und Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft (Tabelle 42). Die Prüfung zeigte, dass die Daten der Skalen *Fehlerlernorientierung* zum Zeitpunkt t_1 , t_2 und t_3 , *Fehlerangst* zum Zeitpunkt t_1 , t_2 und t_3 , *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zum Zeitpunkt t_2 und t_3 und *Verständnis von NOS-Aspekten* zum Zeitpunkt t_3 nicht normalverteilt waren. Aus diesem Grund wurden in einem weiteren Schritt die Schiefe und Kurtosis (Breite) sowie der Quotient Schiefe/Standardfehler und der Quotient Kurtosis/Standardfehler betrachtet. Anhand der Schiefe und der Kurtosis kann geprüft werden, ob trotz der Normalverteilungsabweichung Voraussetzungen für statistische Analysen erfüllt sind (Leonhart, 2017). Eine Schiefe von $-0.5 \leq S \leq 0.5$ und eine Kurtosis von $-1 \leq K \leq 1$ ¹⁵ können bei einer großen Stichprobe

¹⁵ Leonhart (2017) bezeichnet eine Kurtosis, die durch das vierte zentrale Moment berechnet wird und den Wert 3.0 aufweist, als normal (< 3.0 breitgipflig, > 3.0 schmalgipflig). Es muss jedoch beachtet werden, dass SPSS die Kurtosis über das vierte zentrale Moment mit einer Korrekturformel berechnet. Nach dieser Korrekturformel steht der Wert 0 für eine normale Kurtosis, was bedeutet, dass SPSS jeweils 3 von den berechneten Werten subtrahiert. Daher wird nicht wie von Lienert und Raatz (1998) eine Kurtosis zwischen ± 2 und ± 4 als vernachlässigbare Abweichung betrachtet, sondern eine Kurtosis zwischen $-1 \leq K \leq 1$.

als vernachlässigbare Abweichungen betrachtet werden, selbst wenn die Normalverteilungsabweichung statistisch signifikant ist (Lienert & Raatz, 1998). Mit dem Quotient Schiefe/Standardfehler und dem Quotient Kurtosis/Standardfehler kann überprüft werden, ob die Schiefe bzw. die Kurtosis einer Verteilung statistisch signifikant von der Normalverteilung abweicht. Eine Normalität der Verteilung wird angenommen, wenn der Quotient Schiefe/Standardfehler und der Quotient Kurtosis/Standardfehler zwischen -2 und +2 liegt (Lienert & Raatz, 1998).

Da die Skala *affektiv-motivationale Reaktionen* zum Zeitpunkt t_1 beim Kolmogorov-Smirnov-Test einen noch knapp signifikanten Wert aufwies ($p = 0.047$), der Shapiro-Wilk-Test mit $p = 0.078$ aber signifikant war, wurden zur Sicherheit auch bei dieser Skala die Schiefe, Kurtosis, der Quotient Schiefe/Standardfehler und der Quotient Kurtosis/Standardfehler betrachtet. Sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test als auch der Shapiro-Wilk-Test ergaben für die Skala *Verständnis von NOS-Aspekten* zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung. Das bedeutet, dass diese Skala zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 normalverteilt war. Der Vollständigkeit halber wurden auch die Werte dieser beiden Skalen in der Tabelle 42 aufgeführt.

Tabelle 42: Werteverteilung der Skalen Fehlerlernorientierung, Fehlerangst, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten

Skala	Zeitpunkt	M	SD	Schiefe ^a	Kurtosis ^b	Schiefe/Standardfehler ^c	Kurtosis/Standardfehler ^c
F_LO_1	t ₁	4.3	.70	.10	-.20	.70	-.69
F_LO_2	t ₂	4.3	.86	-.15	-.44	-1.00	-1.40
F_LO_3	t ₃	4.2	.89	-.30	.25	-1.92	.82
F_An_1	t ₁	2.5	.96	-.46	-.11	-3.05	-.38
F_An_2	t ₂	2.1	.94	-.70	-.03	-.45	-.10
F_An_3	t ₃	2.6	1.08	-.60	-.07	-3.90	-.22
F_aff_mot_REA_1	t ₁	3.9	.83	-.17	.25	.15	.30
F_aff_mot_REA_2	t ₂	4.1	1.00	-.09	-.11	-.57	-.34
F_aff_mot_REA_3	t ₃	3.9	.88	.24	.36	1.52	1.18
NOS_B_1	t ₁	4.5	.04	.05	.05	.33	.16
NOS_B_2	t ₂	4.4	.79	-.04	-.12	-.25	-.40
NOS_B_3	t ₃	4.3	.78	-.27	.39	-1.74	1.27

Anmerkungen: F_LO = Fehlerlernorientierung, F_An = Fehlerangst, F_aff_mot_REA = affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, NOS_B = Verständnis von NOS-Aspekten; t₁ = Pretest, t₂ = Posttest, t₃ = Follow-up-Test; Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD); ^a Eine Schiefe im Bereich von [-0.5; +0.5] und eine ^b Kurtosis im Bereich von [-1; +1] kann bei einer großen Stichprobe als normalverteilt angesehen werden (Lienert & Raatz, 1998). ^c Die Skalen werden als normalverteilt betrachtet, wenn Schiefe/Standardfehler als auch Kurtosis/Standardfehler im Bereich von [-2; +2] liegen (Tabachnick & Fidell, 2019).

Vergleicht man bei den Skalen *Fehlerlernorientierung*, *Fehlerangst*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* und *Verständnis von NOS-Aspekten* Schiefe, Kurtosis, Quotient Schiefe/Standardfehler und Quotient Kurtosis/Standardfehler mit oben genannten Kriterien, so können die Skalen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* und *Verständnis von NOS-Aspekten* aufgrund der Stichprobengröße von $N = 269$ als normalverteilt angesehen werden. Die Skala *Fehlerangst* wird zum Zeitpunkt t_1 aufgrund des Quotienten Schiefe/Standardfehler, zum Zeitpunkt t_2 aufgrund der Schiefe und zum Zeitpunkt t_3 aufgrund der Schiefe und des Quotienten Schiefe/Standardfehler als nicht normalverteilt betrachtet. Da die Skala *Fehlerangst*, wie im Kapitel 5.2.5 dargestellt, einen zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert hatte und zudem nicht normalverteilt war, wurde die Skala für weitere Untersuchungen ausgeschlossen. Daher wird diese Skala von nun an nicht mehr dargestellt.

5.3.1.5 Übersicht über Skalenwerte

Nachfolgend wird zunächst eine Übersicht über die quantitative Datelage der genutzten Skalen *Fehlerlernorientierung* (F_LO), *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* (F_aff_mot_REA) und *Verständnis von NOS-Aspekten* (NOS_B) gegeben.

Die Skalen werden im Kapitel 5.2 inhaltlich beschrieben und sind im Anhang aufgeführt. Zur Berechnung der Skalenwerte dienten die Antworten der Schüler*innen der Sekundarstufe I zu den drei Messzeitpunkten direkt vor (t_1), direkt nach (t_2) und zwei Monate (t_3) nach dem Kurs (Tabelle 43).

Tabelle 43: Übersicht Skalenwerte zu den drei Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 sowie Alter und Geschlecht

Skala	# Items	Zeitpunkt	Bezeichnung	<i>N</i>	<i>a</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
F_LO	5	t_1	F_LO_1	269	.74	4.3	.70
		t_2	F_LO_2	246	.77	4.3	.86
		t_3	F_LO_3	247	.80	4.2	.89
F_aff_mot_REA	6	t_1	F_aff_mot_REA_1	269	.83	3.9	.83
		t_2	F_aff_mot_REA_2	241	.85	4.1	1.00
		t_3	F_aff_mot_REA_3	246	.81	3.9	.88
NOS_B	9	t_1	NOS_B_1	269	.79	4.5	.61
		t_2	NOS_B_2	246	.82	4.4	.79
		t_3	NOS_B_3	247	.84	4.3	.78
Alter	1	t_1	Alter	269	–	13.6	1.04
Geschlecht	1	t_1	Geschlecht	269	–	.45	.50

Anmerkungen: F_LO = Fehlerlernorientierung, F_aff_mot_REA = affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, NOS_B = Verständnis von NOS-Aspekten; sechsstufige Likert-Skala (1 = stimmt überhaupt nicht, 2 = stimmt größtenteils nicht, 3 = stimmt eher nicht, 4 = stimmt eher, 5 = stimmt größtenteils, 6 = stimmt völlig); Geschlecht: männlich = 0, weiblich = 1; t_1 = Pretest, t_2 = Posttest, t_3 = Follow-up-Test; Cronbachs Alpha (*a*), Mittelwert (*M*) und Standardabweichung (*SD*)

Die Fehlerlernorientierung und die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler sowie das Verständnis von NOS-Aspekten waren eher positiv bzw. adäquat mit eher hohen Standardabweichungen. Das Durchschnittsalter der Schüler*innen lag bei 13.6 Jahren mit einer Standardabweichung von 1.04 Jahren. Die Stichprobe war in Bezug auf das Geschlecht nahezu gleich verteilt, wobei die Anzahl der Schüler etwas höher war als die Anzahl der Schülerinnen.

5.3.2 Vorbereitende Datenanalyse

Da zur Überprüfung gewisser Fragestellungen lineare Regressionen gerechnet wurden, wurden lineare Zusammenhänge zuerst auf Linearität, Autokorrelationen, Multikollinearität, Homoskedastizität und Normal-

verteilung der Residuen geprüft (Leonhart, 2017). Ausreißer wurden, wie im Kapitel 5.3.1 beschrieben, bereits vorher geprüft. Nachfolgend wird die Prüfung dieser Voraussetzungen beschrieben.

5.3.2.1 Linearität

Durch die multiple Regression werden lineare Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen (Prädiktoren) und der abhängigen Variable (Kriterium) untersucht. Die Beziehung zwischen den unabhängigen und der abhängigen Variable muss folglich geradlinig sein (Bortz & Schuster, 2011). Die Linearität zwischen den Variablen wurde mit einfachen Streudiagrammen in *SPSS 23* geprüft. Der Zusammenhang im Streudiagramm wurde mit dem LOWESS-Verfahren (LOESS = Locally estimated/weighted Scatterplot Smoothing) analysiert. Aufgrund der visuellen Inspektion der Matrixdiagramme mit der LOESS-Glättung wird das Verhältnis der Variablen mehrheitlich als linear betrachtet (Knafl et al., 2017).

5.3.2.2 Autokorrelation

Die linearen Zusammenhänge wurden außerdem mittels *SPSS 23* auf Autokorrelation geprüft. Von Autokorrelation wird gesprochen, wenn die Residuen nicht unabhängig sind (Döring & Bortz, 2016). Die Autokorrelationen wurden analytisch mit Durbin-Watson getestet. Die Werte der Durbin-Watson-Statistik lagen um 2. Daher wurde nach Döring und Bortz (2016) angenommen, dass keine Autokorrelation vorliegt.

5.3.2.3 Multikollinearität

Des Weiteren wurde geprüft, ob bei den unabhängigen Variablen Multikollinearität vorliegt. Bei Multikollinearität würden Prädiktoren stark miteinander korrelieren, das heißt, eine Variable würde mit hoher Genauigkeit die andere vorhersagen. Daher sollte keine Multikollinearität vorliegen (Leonhart, 2017). Zur Beurteilung wurden die Toleranzwerte und die Varianzinflationsfaktoren (VIF) mit *SPSS 23* geprüft. Da die

Toleranzwerte nicht kleiner als 0.10 waren und die Varianzinflationsfaktoren nicht größer als 10, lag nach Moosmüller (2004) keine Multikollinearität vor.

5.3.2.4 Homoskedastizität

Es wurde geprüft, ob Homoskedastizität, Gleichheit der Varianzen, der Residuen vorliegt (Bortz & Schuster, 2011). Dies wurde mit SPSS 23 grafisch geprüft. Aufgrund der Prüfung wird die Varianz der Residuen nach Bortz und Schuster (2011) als gleich betrachtet.

5.3.2.5 Normalverteilung des Fehlerwertes

Die Fehlerwerte (Residuen) sollten zuletzt auch möglichst normalverteilt sein (Bortz & Schuster, 2011). Die Normalverteilung des Fehlerwertes wurde durch ein Histogramm der standardisierten Residuen visuell beurteilt. Anhand der visuellen Beurteilung konnten die Fehlerwerte als normalverteilt betrachtet werden.

5.3.2.6 Korrelationen zwischen Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten zu den drei Messzeitpunkten t_1 , t_2 und t_3

In Tabelle 44 finden sich Korrelationsanalysen zwischen den Skalen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* und *Verständnis von NOS-Aspekten* zu den drei Messzeitpunkten t_1 (Pretest), t_2 (Posttest) und t_3 (Follow-up-Test). Die Korrelationen waren mit zwei Ausnahmen auf einem Signifikanzniveau von $p = 0.01$ signifikant. Zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3 sowie zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3 bestanden keine Zusammenhänge. Korrelationen mit einem großen Effekt ($r > 0.5$) (Leonhart, 2017) bestanden in erster Linie zwischen gleichen Skalen über die Zeit, so etwa zwischen der Fehlerlernorientierung zum

Zeitpunkt t_1 , zum Zeitpunkt t_2 sowie zum Zeitpunkt t_3 . Dasselbe zeigte sich bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler. Die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_1 korrelierten stark über die Zeit mit dem Zeitpunkt t_2 sowie mit dem Zeitpunkt t_3 . Das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 korrelierte hingegen nur mit dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 stark, mit t_3 hingegen mittelstark. Weiter korrelierte das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 mit t_3 stark. Weitere starke Korrelationen bestanden auch zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 sowie zwischen den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 und t_3 . Die letzte starke Korrelation bestand zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 und dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 . Alle anderen Skalen korrelierten auf einem schwachen oder mittleren Niveau miteinander.

Tabelle 44: Korrelationen der Skalen Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3

Variable	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. F_LO_1	269	4.3	.70	–								
2. F_aff_mot_REA_1	269	3.9	.83	.47**	–							
3. NOS_B_1	269	4.5	.61	.40**	.26**	–						
4. F_LO_2	246	4.3	.86	.68**	.38**	.35**	–					
5. F_aff_mot_REA_2	241	4.1	1.00	.49**	.70**	.25**	.54**	–				
6. NOS_B_2	246	4.4	.79	.25**	.21**	.65**	.40**	.31**	–			
7. F_LO_3	247	4.2	.89	.54**	.41**	.22**	.49**	.42**	.27**	–		
8. F_aff_mot_REA_3	246	3.9	.88	.32**	.55**	.12	.27**	.60**	.06	.39**	–	
9. NOS_B_3	247	4.3	.80	.28**	.36**	.39**	.24**	.30**	.51**	.60**	.33**	–

Anmerkung: F_LO = Fehlerlernorientierung, F_aff_mot_REA = affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, NOS_B = Verständnis von NOS-Aspekten; Mittelwert (*M*) und Standardabweichung (*SD*);

** $p < 0.01$ (zweiseitig); Effekte: klein: $r = 0.1$, mittel: $r = 0.3$, groß: $r = 0.5$ (Leonhart, 2017).

5.3.2.7 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern (Fragestellung und Hypothesen 2)

Um die Hypothesen 2.1 zu prüfen, wurden ein Strukturgleichungsmodelle der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *Fehlerlernorientierung* in *Mplus 8* mit einer Maximum-Likelihood-Schätzung mit robusten Standardfehlern (MLR) gerechnet (Muthén & Muthén, 1998–2017). Als Kontrollvariablen hinzugezogen wurden das Geschlecht, das Alter, das Niveau und die Schulstufe. Da das Niveau und die Schulstufe keinen signifikanten Effekt auf die Skalen hatten, wurden diese nicht weiter berücksichtigt.

Das Modell wies die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 139.15$, $df = 99$, $p = 0.005$, $\chi^2/df = 1.41$; RMSEA = 0.04, CFI = 0.94 und TLI = 0.93 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Der χ^2 -Test beurteilt die Güte von Strukturgleichungsmodellen. Er überprüft die Nullhypothese, welche davon ausgeht, dass die empirischen Daten mit dem theoretischen Modell übereinstimmen (Schermelleh-Engel, Moosbrugger & Müller, 2003). Bei einem χ^2 -Wert von 0 wird eine perfekte Übereinstimmung der empirischen Daten mit dem theoretischen Modell angenommen und die Nullhypothese beibehalten (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2011; Döring & Bortz, 2016). Da der χ^2 -Wert bei zunehmender Stichprobengröße immer größer und damit in der Regel signifikant wird, kann alternativ der Wert aus dem Quotienten zwischen dem χ^2 -Wert und der Anzahl Freiheitsgrade des Modells geprüft werden. Aufgrund eines signifikanten χ^2 -Wertes von 139.15 wurde der Quotient zwischen dem χ^2 -Wert und der Anzahl der Freiheitsgrade des Modells geprüft. Da der Quotient für dieses Modell 1.41 beträgt und damit kleiner als 5 ist, kann dies als akzeptabel angenommen werden (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Kyriazos, 2018).

Im Gegensatz zum χ^2 -Test ermöglichen deskriptive Gütekriterien, die Abweichung zwischen dem theoretischen Modell und den empirischen Daten graduell zu beurteilen. Dabei wird zwischen absoluten und relativen Maßen unterschieden. Absolute Maße betrachten allein das

Modell, während relative Maße auf einem Modellvergleich basieren und Vergleiche zu einem Baseline-Modell darstellen (Döring & Bortz, 2016). Der RMSEA als absolutes deskriptives Gütekriterium „ist ein Gütemaß zur Bestimmung der approximativen Passung zwischen Modell und Daten bezogen auf die Stichprobengröße und die Anzahl der Freiheitsgrade“ (Döring & Bortz, 2016, S. 967). Da die Nullhypothese durch das alleinige Überprüfen des χ^2 -Werts oft abgelehnt werden müsste, wurde der RMSEA entwickelt, welcher die Stichprobengröße berücksichtigt und daher relativ unabhängig von dieser ist (Döring & Bortz, 2016). Ein RMSEA von 0 steht für eine perfekte Anpassung. Werte $\leq .06$ sprechen für einen guten Fit (Hu & Bentler, 1999), und Werte $\leq .08$ sprechen für einen zufriedenstellenden Fit (Byrne, 2011).

Der CFI als relatives deskriptives Gütemaß vergleicht das untersuchte Modell mit dem Unabhängigkeitsmodell¹⁶ (Döring & Bortz, 2016). „Dabei wird bestimmt, um wie viel das untersuchte Modell die Daten besser erklären kann als das Unabhängigkeitsmodell“ (Döring & Bortz, 2016, S. 968). Der CFI ist im Vergleich mit Gütemaßen, welche auf einem Modellvergleich beruhen, am wenigsten von der Größe der Stichprobe abhängig (Döring & Bortz, 2016). CFI-Werte $\geq .90$ sprechen für eine gute Übereinstimmung, Werte $\geq .95$ sprechen für eine sehr gute Übereinstimmung (Hu & Bentler, 1998, 1999).

Der TLI gehört wie der CFI zu den relativen deskriptiven Gütemaßen (Kleinke et al., 2017). Auch der TLI zeigt an, „in welchem Ausmaß das postulierte Modell eine bessere Datenanpassung aufweist als ein Unabhängigkeitsmodell“ (Kleinke et al., 2017, S. 38). Auch TLI-Werte $\geq .90$ sprechen für einen guten Fit, Werte $\geq .95$ sprechen für einen sehr guten Fit (Hu & Bentler, 1998, 1999; Schumacker & Lomax, 2016).

¹⁶ Das Unabhängigkeitsmodell kann als Vergleichsmodell verwendet werden. Dabei wird davon ausgegangen, „dass alle beobachteten Variablen unkorreliert sind. Dieses Modell kann daher keinerlei Kovarianzen der Variablen erklären und passt entsprechend schlecht zu den Daten, wenn die beobachteten Variablen tatsächlich zusammenhängen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 967). Außerdem könnte „auch das Nullmodell als Vergleichsmodell dienen. Das Nullmodell ist noch restriktiver als das Unabhängigkeitsmodell, da mit dem Nullmodell keine Kovarianzen und auch keine Varianzen der beobachteten Variablen erklärt werden können“ (Döring & Bortz, 2016, S. 967).

Um die Hypothese 2.2 zu prüfen, wurde analog zur Hypothese 2.1 ein Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* in *Mplus 8* gerechnet. Auch hier wurden die Kontrollvariablen *Geschlecht*, *Alter*, *Niveau* und *Schulstufe* hinzugezogen. Da das *Niveau* und die *Schulstufe* auch in diesem Modell keinen signifikanten Effekt auf die Skalen hatten, wurden diese nicht weiter berücksichtigt. Anhand der vorgeschlagenen Modifikationsindizes wurden Modellverbesserungen vorgenommen. Es wurden die Fehlerterme der Items *F_aff_mot_REA_4* und *F_aff_mot_REA_5* miteinander korreliert. Dahinter steckt die Vermutung, dass ein weiterer gemeinsamer Term (Variable) weitere Varianz erklären kann (vgl. z. B. Geiser, 2010). Das Modell wies die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 175.40$, $df = 113$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.55$; RMSEA = 0.05, CFI = 0.93 und TLI = 0.92 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Um die Hypothese 2.3 zu prüfen, wäre auch ein Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *Fehlerangst* unter Hinzuziehung der Kontrollvariablen *Geschlecht*, *Alter*, *Niveau* und *Schulstufe* gerechnet worden. Wie jedoch im Kapitel 5.3.1 dargestellt, wurde die Skala *Fehlerangst* aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Um die Hypothese 2.4 zu prüfen, wurde ein Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängigen Variablen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* sowie der indirekte Effekt *der Fehlerlernorientierung* auf die *affektiv-motivationalen Reaktion auf Fehler* in *Mplus 8* berechnet. Als Kontrollvariablen hinzugezogen wurden auch hier das *Geschlecht*, das *Alter*, das *Niveau* und die *Schulstufe*. Da das *Niveau* und die *Schulstufe* auch hier keinen signifikanten Effekt auf die Skalen hatten, wurden diese nicht weiter berücksichtigt. Zudem wurden auch hier Modifikationsindizes für Modellverbesserungen vorgeschlagen und die Fehlerterme der Items *F_aff_mot_REA_4* und *F_aff_mot_REA_5* mit-

einander korreliert. Das Modell wies die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 293.87$, $df = 200$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.47$; RMSEA = 0.04, CFI = 0.92 und TLI = 0.91 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Auch zur Überprüfung der Hypothese 2.5 wäre ein Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängigen Variablen *Fehlerlernorientierung* und *Fehlerangst* sowie der indirekte Effekt der *Fehlerlernorientierung* auf die *Fehlerangst* unter Hinzuziehung der Kontrollvariablen Geschlecht, Alter, Niveau und Schulstufe gerechnet worden. Doch auch dieses Modell wurde nicht gerechnet, da die Skala *Fehlerangst*, wie im Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

5.3.2.8 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern (Fragestellung und Hypothesen 3)

Um zu überprüfen, ob die Intervention eine Wirkung auf den Umgang mit Fehlern hatte, wurden jeweils multiple Regressionen gerechnet. Bei der Berechnung von multiplen linearen Regressionen müssen, wie am Anfang dieses Kapitels 5.3.2 beschrieben, gewisse Voraussetzungen für die Ergebnisinterpretation erfüllt sein. Wird eine Voraussetzung verletzt, wird die Genauigkeit der Vorhersage gemindert. Es waren alle Voraussetzungen für die Berechnung von multiplen linearen Regressionen erfüllt (Kapitel 5.3.2).

Nach der Prüfung der Voraussetzungen wurde in einem ersten Schritt geprüft, ob sich die Mittelwerte der Kontroll- und der Interventionsgruppe in den zwei Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zu den drei Zeitpunkten unterscheiden. Da die Skala *Fehlerangst*, wie im Kapitel 5.3.1 dargestellt, einen zu tiefen Cronbachs Alpha-Wert und nicht normalverteilte Daten hatte, wurde diese Skala aus der Untersuchung ausgeschlossen. Daher wurde folglich auch die Wirkung der Intervention auf die Fehlerangst nicht geprüft. Um statistisch zu überprüfen, ob sich die Mittelwerte der

Kontroll- und der Interventionsgruppe in den zwei Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektive-motivationale Reaktionen auf Fehler* zu den drei Zeitpunkten unterscheiden, wurden *t*-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Voraussetzungen des *t*-Tests für unabhängige Stichproben waren erfüllt (Tabelle 45). Die Likert-Skalen wurden, wie in der Psychologie üblich, als intervallskaliert betrachtet, da die sechs Abstufungen von 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig) symmetrisch formuliert wurden (Carifio & Perla, 2007). Die Skalen wurden als normalverteilt betrachtet und die Gruppen kamen gemäß Prüfung der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test aus Grundgesamtheiten mit annähernd identischer Varianz (Bortz & Schuster, 2011).

Tabelle 45: Mittelwertunterschiede der Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*

Zeitpunkt	Gruppe	F_LO					F_aff_mot_REA				
		N	M	SD	t-Test (T-Wert)	d	N	M	SD	t-Test (T-Wert)	d
t ₁	KG	129	4.29	.67	-.15	-	129	3.80	0.84	-2.44*	-.30
	IG	140	4.31	.73			140	4.05	0.81		
t ₂	KG	124	4.25	.86	-.31	-	124	3.99	1.00	-2.12*	-.28
	IG	122	4.28	.88			122	4.27	0.98		
t ₃	KG	119	4.10	.91	-1.74	-	119	3.68	0.78	-3.16**	.41
	IG	128	4.30	.87			128	4.03	0.93		

Anmerkungen: F_LO = Fehlerlernorientierung, F_aff_mot_REA = affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler; t₁ = Pretest, t₂ = Posttest, t₃ = Follow-up-Test; Anzahl Messwerte (N), Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Skalen getrennt nach der Gruppe, KG = Kontrollgruppe, IG = Interventionsgruppe; Ergebnisse der Mittelwertvergleiche mit *t*-Test für unabhängige Stichproben; Effektstärke nach Cohen (d): 0.2 = schwacher Effekt, 0.4 = mittlerer Effekt, 0.8 = starker Effekt (Cohen, 1988);

**p < 0.01, *p < 0.05

Für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t₁ zeigte sich der *t*-Test nicht signifikant: $t(267) = -.15, p = .81$. Die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zur Fehlerlernorientierung unterschieden sich demnach zum Zeitpunkt t₁ nicht.

Für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_1 zeigte sich der t -Test signifikant: $t(267) = -2.44$, $p = .02$. Die Mittelwerte der beiden Gruppen sind demnach unterschiedlich. Um zu beurteilen, wie bedeutsam dieses Ergebnis ist, wurde die Effektstärke nach Cohen (1988) berechnet. Für die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ergab sich eine Effektstärke von $d = -.30$, was nach Cohen (1988) einem schwachen Effekt entspricht. Trotz des schwachen, signifikanten Effekts wurden die Mittelwerte als annähernd vergleichbar betrachtet.

Für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bei der Fehlerlernorientierung zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 zeigte sich der t -Test nicht signifikant: $t(244) = -.31$, $p = .76$ bzw. $t(245) = -1.74$, $p = .08$. Somit unterscheiden sich die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zur Fehlerlernorientierung auch zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 nicht.

Für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 zeigte sich der t -Test signifikant: $t(239) = -2.12$, $p = .04$ bzw. $t(244) = -3.16$, $p = .002$. Die Effektstärke nach Cohen (1988) zeigte, dass es einen schwachen ($d = -.28$) bzw. mittleren Effekt ($d = .41$) gab.

In einem zweiten Schritt wurde jeweils längsschnittlich geprüft, ob die Intervention eine Wirkung auf die Fehlerlernorientierung und die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 hatte. Dazu wurden jeweils multiple Regressionen gerechnet.

Zur Überprüfung der Hypothese 3.1.1 wurde eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 (F_LO_2) unter der Berücksichtigung der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 (F_LO_1), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet.

Zur Überprüfung der Hypothese 3.1.2 wurde analog zur Prüfung

der Hypothese 3.1.1 eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 (F_aff_mot_REA_2) unter der Berücksichtigung der affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_1 (F_aff_mot_REA_1), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet. Zur Überprüfung der Hypothese 3.1.3 wäre auch eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die Fehlerangst zum Zeitpunkt t_2 (F_An_2) unter der Berücksichtigung der Fehlerangst zum Zeitpunkt t_1 (F_An_1), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet worden. Diese multiple Regression wurde nicht gerechnet, da die Skala *Fehlerangst*, wie im Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

Zur Überprüfung der Hypothese 3.2.1 wurde eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 (F_LO_3) unter der Berücksichtigung der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 (F_LO_2), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet.

Zur Überprüfung der Hypothese 3.2.2 wurde eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3 (F_aff_mot_REA_3) unter der Berücksichtigung der affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 (F_aff_mot_REA_2), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet. Zur Überprüfung der Hypothese 3.2.3 wäre auch eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf die Fehlerangst zum Zeitpunkt t_3 (F_An_3) unter der Berücksichtigung der Fehlerangst zum Zeitpunkt t_2 (F_An_2), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet worden. Doch auch diese multiple Regression wurde nicht gerechnet, da die Skala *Fehlerangst*, wie im Kapi-

tel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

5.3.2.9 Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten (Fragestellung und Hypothesen 4)

Um zu überprüfen, ob die Intervention eine Wirkung auf das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten hat, wurden analog zur Fragestellung 2 jeweils multiple Regressionen gerechnet. Bevor die multiplen linearen Regressionen gerechnet wurden, wurden auch hier die Voraussetzungen geprüft (Kapitel 5.3.2). Lineare Zusammenhänge wurden daher auf Linearität, Autokorrelationen, Multikollinearität, Homoskedastizität und Normalverteilung der Residuen geprüft (Leonhart, 2017). Ausreißer wurden, wie im Kapitel 5.3.1 beschrieben, bereits vorhergehend geprüft.

Nach der Prüfung der Voraussetzungen wurde auch hier in einem ersten Schritt kontrolliert, ob sich die Mittelwerte der beiden Gruppen in deren Verständnis von NOS-Aspekten zu den drei Zeitpunkten unterscheiden. Um dies statistisch zu überprüfen, wurden t -Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Voraussetzungen des t -Tests für unabhängige Stichproben waren erfüllt (Tabelle 46). Die Likert-Skalen wurden, wie in der Psychologie üblich, als intervallskaliert betrachtet, da die sechs Abstufungen von 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig) symmetrisch formuliert wurden (Carifio & Perla, 2007). Die Skalen wurden als normalverteilt betrachtet (Kapitel 5.3.1), und die Gruppen stammen gemäß Prüfung der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test aus Grundgesamtheiten mit annähernd identischer Varianz (Bortz & Schuster, 2011).

Für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 zeigte sich der t -Test nicht signifikant ($t(267) = .79, p = .43$). Die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zum Verständnis von NOS-Aspekten unterschieden sich zum Zeitpunkt t_1 nicht.

Tabelle 46: Mittelwertunterschiede der Skala *Verständnis von NOS-Aspekten*

Zeitpunkt	Gruppe	NOS_B				
		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> -Test (<i>T</i> -Wert)	<i>d</i>
t_1	KG	129	4.51	.59	.79	–
	IG	140	4.45	.63		
t_2	KG	124	4.37	.75	–.59	–
	IG	122	4.43	.85		
t_3	KG	119	4.12	.83	–2.98***	–.38
	IG	128	4.42	.76		

Anmerkungen: NOS_B = Verständnis von NOS-Aspekten; t_1 = Pretest, t_2 = Posttest, t_3 = Follow-up-Test Anzahl Messwerte (*N*), Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) der Skalen getrennt nach der Gruppe, KG = Kontrollgruppe, IG = Interventionsgruppe; Ergebnisse der Mittelwertvergleiche mit *t*-Test für unabhängige Stichproben; Effektstärke nach Cohen (*d*): 0.2 = schwacher Effekt, 0.4 = mittlerer Effekt, 0.8 = starker Effekt (Cohen, 1988); *** $p < 0.001$

Auch für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 zeigte sich der *t*-Test nicht signifikant ($t(244) = -.59$, $p = .59$). Die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zum Verständnis von NOS-Aspekten unterschieden sich auch zum Zeitpunkt t_2 nicht.

Jedoch zeigte sich der *t*-Test für den Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 signifikant ($t(245) = -2.98$, $p = .003$). Nach Cohen (1988) ist dies ein schwacher Effekt ($d = -.38$). Somit unterschieden sich die Kontroll- und Interventionsgruppe zum Zeitpunkt t_3 leicht im Verständnis von NOS-Aspekten.

In einem zweiten Schritt wurde jeweils längsschnittlich geprüft, ob die Intervention eine Wirkung auf das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 hatte. Dazu wurden jeweils multiple Regressionen gerechnet.

Zur Überprüfung der Hypothese 4.1.1 wurde eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf das Verständnis von NOS-

Aspekten zum Zeitpunkt t_2 (NOS_B_2) unter der Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 (NOS_B_1), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet.

Zur Überprüfung der Hypothese 4.2.1 wurde eine multiple Regression zum Einfluss der Intervention (IG) auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 (NOS_B_3) unter der Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten t_2 (NOS_B_2), des Geschlechts (männlich – weiblich), des Alters, des Niveaus (Sek – Real) und der Jahrgangsstufe (7., 8., 9. Klasse) berechnet.

5.3.2.10 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit (Fragestellungen und Hypothesen 5)

Zur Beantwortung der Hypothesen 5.1.1 und 5.1.2 sowie 5.2.1 und 5.2.2 wurden mehrere autoregressive Strukturgleichungsmodelle (ARM) in *Mplus 8* getestet und miteinander verglichen. ARM stellen eine Möglichkeit dar, Paneldaten, das heißt Daten, die durch wiederholte Erhebung der gleichen Variablen zu mehreren Messzeitpunkten gewonnen wurden, zu analysieren (Kleinke et al., 2017). Diese Modelle „basieren auf der Grundidee, dass der beste Prädiktor für gegenwärtiges Erleben und Verhalten zeitlich vorgeordnetes Erleben und Verhalten ist“ (Geiser, 2010, S. 131). Daher werden im ARM Messungen einer Variablen zu einem späteren Zeitpunkt durch Messungen der gleichen Variable zu einem früheren Zeitpunkt vorhergesagt. Diese Beziehungen werden als autoregressive Beziehungen bezeichnet (Kleinke et al., 2017).

Zudem wird über kreuzverzögerte Effekte (Cross-Lagged Effects¹⁷) ein weiterer Teil der Varianz erklärt, der durch die autoregressiven Beziehungen nicht vorhergesagt werden kann (Geiser, 2010). Somit wird über die kreuzverzögerten Effekte versucht, „den ‚instabilen‘ Teil inter-

¹⁷ Effekte, die durch andere zeitlich vorgeordnete Variablen, welche zusätzlich ins Modell aufgenommen wurden, erklärt werden

individueller Unterschiede durch andere Variablen zu erklären“ (Geiser, 2010, S. 132).

Bezogen auf die hier dargestellte Studie kann anhand der Stabilitätsparameter der autoregressiven Pfade gesehen werden, wie stabil der Umgang der Schüler*innen mit Fehlern bzw. die Fehlerlernorientierung und deren Verständnis von NOS-Aspekten über die drei Zeitpunkte t_1 (direkt vor der Intervention), t_2 (direkt nach der Intervention) und t_3 (zwei Monate nach der Intervention) geblieben ist (Geiser, 2010; Kleinke et al., 2017). Eine hohe Stabilität würde zeigen, dass die Rangreihe innerhalb der untersuchten Stichprobe über die Zeit stabil war, das heißt, dass Schüler*innen, welche im Vergleich zu anderen Schüler*innen zu einem früheren Messzeitpunkt höhere Werte erzielten, auch zu einem späteren Messzeitpunkt höhere Werte erzielten. Diese Veränderung ist unabhängig von der Veränderung des Stichprobenmittelwerts. Daher wird durch die Stabilitätsparameter die relative interindividuelle Stabilität abgebildet (Kleinke et al., 2017).

Durch kreuzverzögerte Pfade (Cross-Lagged-Beziehungen) können zeitversetzte Zusammenhänge zwischen dem Umgang der Schüler*innen mit Fehlern bzw. der Fehlerlernorientierung und deren Verständnis von NOS-Aspekten längsschnittlich überprüft werden, um sich kausalen Interpretationen möglichst anzunähern (Kleinke et al., 2017).

Zuerst wurde ein teilweise latentes ARM mit der gesamten Stichprobe ($N = 269$) in *Mplus 8* berechnet und die Modellpassung anhand des χ^2 -Tests (Chi-Quadrat-Test), RMSEA, CFI und TLI bewertet. Ein teilweise latentes ARM wurde einem manifesten ARM vorgezogen, da latente Modelle Messfehler bei der Schätzung der Pfadkoeffizienten berücksichtigen (Geiser, 2010). Zudem erlauben diese „die Testung von Messmodellen, die Analyse indikatorspezifischer Effekte [...] sowie die Bestimmung des Grades an Messinvarianz über die Zeit“ (Geiser, 2010, S. 138–139).

Da zwischen dem Zeitpunkt t_1 und t_2 eine Intervention für die Hälfte der Gruppen stattfand, wurden in einem zweiten Schritt zwei separate, teilweise latente ARM für die Kontroll- und Interventionsgruppe gerechnet. Die beiden Modelle wiesen noch immer gute Fit-Werte auf, durch das nun kleine N von 129 bzw. 140 wiesen aber nur noch die

autoregressiven Pfade sowie die Korrelationen signifikante Werte auf. Dies lässt sich damit erklären, dass durch die Verringerung der Stichprobengröße die Power und damit die Wahrscheinlichkeit, Signifikanz nachweisen zu können, abnimmt. Zudem können bei so kleinen Stichproben potenzielle Schätzprobleme und Verzerrungen auftreten (z. B. Rosseel, 2020). Da zur Beantwortung der Hypothesen 5.1.1 und 5.1.2 vor allem die kreuzverzögerten Pfade von Interesse waren, wurde das Strukturgleichungsmodell mit der gesamten Stichprobe gewählt. Es wurde ein teilweise latentes ARM unter Kontrolle der Intervention, des Geschlechts, Alters, Niveaus und der Schulstufe gerechnet.

Das Verständnis von NOS-Aspekten wurde als Faktormodell erster Ordnung modelliert, die Fehlerlernorientierung als manifestes Modell. Dabei wurden die Beziehungen zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 und der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 sowie die Beziehung zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 und der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 als autoregressive Pfade modelliert. Zusätzlich wurde die Beziehung zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 und der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 spezifiziert. Analog dazu wurden die Beziehungen zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 und dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 sowie die Beziehungen zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 und dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 als autoregressive Pfade modelliert. Auch hier wurden zusätzlich die Beziehungen zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 und zum Zeitpunkt t_3 spezifiziert.

Außerdem wurden kreuzverzögerte Pfade zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 und dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 sowie zum Zeitpunkt t_3 geschätzt. Ein weiterer kreuzverzögerter Pfad wurde zwischen der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 und dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 modelliert. Auch hier wurden analog dazu kreuzverzögerte Pfade zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 und der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 sowie zum Zeitpunkt t_3 geschätzt. Des Weiteren wurde ein kreuzverzögerter Pfad zwischen dem Verständnis

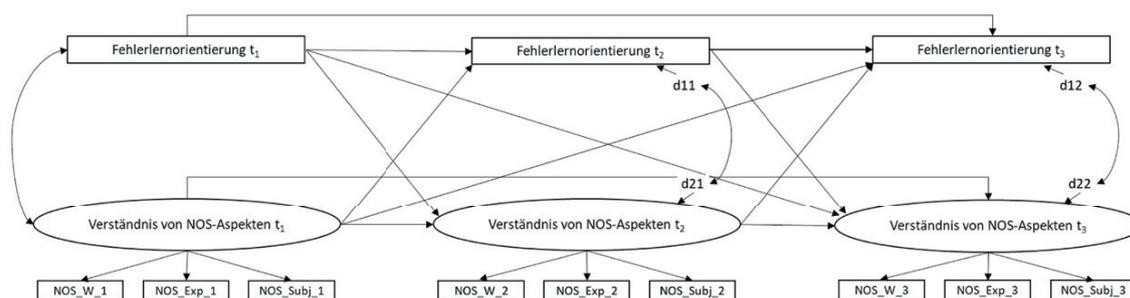


Abbildung 19: Autoregressives Strukturgleichungsmodell für Fehlerlernorientierung unter Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten; der Übersichtlichkeit halber wurden die Kontrollvariablen Geschlecht, Alter, Niveau und Schulstufe nicht dargestellt.

von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 und der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 modelliert. Durch die kreuzverzögerten Pfade wurde der Zusammenhang zwischen zeitversetzten Prädiktor- und Kriteriumsvariablen längsschnittlich überprüft, um sich kausalen Aussagen anzunähern (Bortz & Döring, 2006; Geiser, 2010; Kleinke et al., 2017).

Zuletzt wurden für jeden Zeitpunkt die Korrelationen zwischen der Fehlerlernorientierung und dem Verständnis von NOS-Aspekten hinzugefügt, wobei es sich bei den Zeitpunkten t_2 und t_3 um die Korrelationen zwischen den Residuen der Variablen handelte (Abbildung 19).

Die Kontrollvariablen *Intervention*, *Geschlecht*, *Alter*, *Niveau* und *Schulstufe* wurden, wie oben beschrieben, dem Modell hinzugefügt, in Abbildung 19 der Übersichtlichkeit halber jedoch nicht dargestellt. Dazu wurden die Pfade zwischen den Kontrollvariablen und der Fehlerlernorientierung sowie zwischen den Kontrollvariablen und dem Verständnis von NOS-Aspekten spezifiziert. Da das Modell zunächst nicht ausreichend passte, wurden die Modifikationsindizes hinzugezogen. Anhand der vorgeschlagenen Modifikationsindizes wurden Modellverbesserungen vorgenommen. Es wurden die Fehlerterme der Items *NOS_Subj_K_1* und *NOS_Subj_K_2* sowie *NOS_W_1* und *NOS_W_2* miteinander korreliert. Dahinter steckt die Vermutung, dass weitere Variablen zur Kovariation der Items beitragen, die in der latenten Variable nicht „eingefangen“ werden (Kline, 2015). Das teilweise latente autoregressive Modell wies die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 131.19$,

$df = 70$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.87$, RMSEA = 0.06, CFI = 0.95 und TLI = 0.90 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

5.4 Pilotierung Interviews

Eine erste Version des Interviewleitfadens wurde mit zwei Schüler*innen pilotiert. Die Fragen waren zu allgemein gestellt und das Interview zu breit ausgerichtet, um die Fragestellungen zu beantworten. Daher wurde dieser Leitfaden bereits nach den zwei Pilotinterviews intensiv überarbeitet. Die zweite Version war die finale Version des Interviewleitfadens, der in dieser Studie eingesetzt wurde und im Anhang zu finden ist. Bevor dieser zum Einsatz kam, wurde er mit zwei weiteren Schüler*innen pilotiert. Die Fragen bereiteten den Schüler*innen keine Verständnisprobleme, und die gegebenen Antworten wurden als passend eingeschätzt. Daher wurde dieser Interviewleitfaden in der Haupterhebung eingesetzt.

5.5 Analyse der Interviews

5.5.1 Durchführung der Interviews

Die Interviews mit den Schüler*innen wurden, wie im Kapitel 4.3.3 beschrieben, mit einem Interviewleitfaden geführt. Aufgrund der COVID-19-Pandemie wurden die Interviews nicht an den Schulen, sondern online über *Microsoft Teams* abgehalten. Dabei waren die Kameras eingestellt. Lediglich bei vereinzelt Schüler*innen gab es Probleme mit der Verbindung und die Kameras wurden daraufhin ausgeschaltet. Die Interviews wurden mit einem Tonband aufgenommen und dauerten im Durchschnitt 10 Minuten.

5.5.2 Transkription der Interviews

Die Tonaufnahmen wurden auf Basis von Kuckartz (2016) mit dem Programm *MAXQDA* transkribiert. Es wurde nicht allen Transkriptionsregeln von Kuckartz (2016) Beachtung geschenkt, und gewisse Regeln

wurden angepasst. Die auf Schweizerdeutsch geführten Interviews wurden vollständig und möglichst wortgetreu ins Standarddeutsche übersetzt. Dabei wurde nach Fuß und Karbach (2014) die Umgangssprache leicht korrigiert und der Dialekt leicht geglättet. Bei der leichten Glättung wurde nach Fuß und Karbach (2014) der „breite Dialekt“ korrigiert, aber umgangssprachliche Ausdrucksweisen, fehlerhafte Ausdrücke und Satzbauten sowie feststehende mundartliche Ausdrücke beibehalten. Die vollständigen Transkriptions- und Notationsregeln, angepasst an Fuß und Karbach (2014), Kuckartz (2016) und Langer (2013), finden sich im Anhang.

5.5.3 Qualitative Inhaltsanalyse der Interviews

Nach der Transkription der Interviews wurde eine inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016, S. 100) durchgeführt (Abbildung 20). Dabei wird von Kuckartz (2016) ausgehend von der zu untersuchenden Fragestellung im ersten Schritt initiiierende Textarbeit geleistet. Dabei sollen wichtige Textstellen markiert und eventuell Memos geschrieben werden. Im zweiten Schritt werden thematische Hauptkategorien entwickelt, mit welchen im dritten Schritt das gesamte Datenmaterial codiert wird. Im vierten Schritt werden alle Textstellen zusammengestellt, welche mit der gleichen Hauptkategorie codiert wurden. Anschließend werden im fünften Schritt Subkategorien induktiv am Material bestimmt. Im sechsten Schritt wird das gesamte Datenmaterial mit dem ausdifferenzierten Kategoriensystem codiert. Im letzten und siebten Schritt werden sowohl einfache als auch komplexe Analysen durchgeführt und Ergebnisse visualisiert.

Zur Analyse wurde das Programm *MAXQDA* verwendet. Der erste Schritt von Kuckartz (2016, S. 100), die initiiierende Textarbeit, wurde übersprungen, da die Hauptkategorien deduktiv von den Fragestellungen abgeleitet wurden (Schritt 2). Anschließend wurden die Transkripte mit den Hauptkategorien *Aspekte zum Vorgehen beim naturwissenschaftlichen Arbeiten*, *Gründe für Fehler im Prozess (Warum?)*, *Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können (Wo?)*, *Fehler*

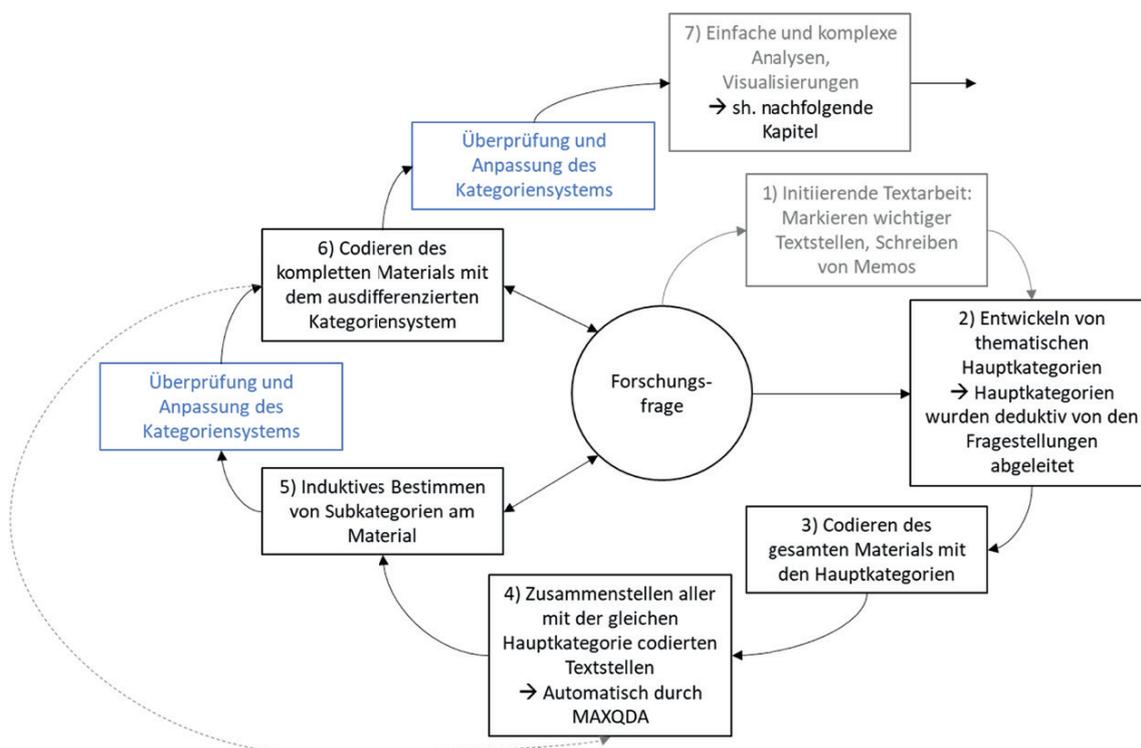


Abbildung 20: Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016, S. 100); graue Bereiche: übersprungener Schritt (1) oder später beschriebener Schritt (7), schwarze Bereiche: durchgeführte Schritte, blaue Bereiche: zusätzlich durchgeführte Schritte

beim Experimentieren, Entstehung Beobachtungsfehler und Umgang von Naturwissenschaftler*innen mit Fehlern codiert (Schritt 3). Durch das Programm MAXQDA wurden automatisch alle codierten Textstellen mit den gleichen Hauptkategorien zusammengestellt (Schritt 4). Im nächsten Schritt wurden die Subkategorien induktiv am Material bestimmt (z. B. Subkategorien *Fehler werden konkret erwähnt*, *Fehler werden indirekt erwähnt* und *Fehler werden nicht erwähnt* der Hauptkategorie *Aspekte zum Vorgehen beim naturwissenschaftlichen Arbeiten*) (Schritt 5). Dabei wurden Subkategorien auf erster und zweiter Ebene erstellt. In einem Zwischenschritt, der nicht von Kuckartz (2016, S. 100) aufgeführt wird, wurde das Kategoriensystem überprüft. Es wurden Subkategorien, die zum Beispiel fälschlicherweise zweifach unter derselben Kategorie aufgeführt wurden, zusammengeführt. Außerdem wurden gewisse Subkategorien auf erster Ebene, einer anderen Subkategorie erster Ebene untergeordnet und somit zu Subkategorien zweiter Ebene.

Diese detaillierte Analyse diente der Bildung von Subkategorien erster Ebene. Die Subkategorien zweiter Ebene wurden nicht im Kategoriensystem aufgeführt, da sie lediglich zur detaillierteren Beschreibung der Ergebnisse dienten. Nach diesem Zwischenschritt wurde das gesamte Datenmaterial mit dem ausdifferenzierten Kategoriensystem codiert (Schritt 6). Im letzten Schritt, welcher auch nicht von Kuckartz (2016, S. 100) aufgeführt wird, wurde das gesamte bereits codierte Material mit dem ausdifferenzierten Kategoriensystem noch einmal überprüft. Dabei wurden einige Stellen nochmals umcodiert. Das Kategoriensystem mit den sechs Hauptkategorien *Aspekte zum Vorgehen beim wissenschaftlichen Arbeiten*, *Gründe für Fehler im Prozess (Warum?)*, *Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können (Wo?)*, *Fehler beim Experimentieren*, *Entstehung Beobachtungsfehler* und *Umgang von Naturwissenschaftler*innen mit Fehlern* sowie den dazugehörigen Subkategorien befindet sich im Anhang.

5.5.4 Quantifizierung der Interviews

Um die Hypothese 6.2.1, ob Schüler*innen aus der Interventionsgruppe drei Monate nach der Intervention (t_4) ein adäquateres Verständnis von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess haben als Schüler*innen der Kontrollgruppe, zu beantworten, wurden die Interviewdaten quantifiziert. Durch die Quantifizierung wurde das Datenmaterial vereinfacht und konnte besser miteinander verglichen werden (Sandelowski, Voils & Knafl, 2009). Die Interviewdaten wurden nicht quantifiziert, um diese mit den quantitativen Daten zu verknüpfen.

Aufgrund der Kategorien und Subkategorien, die bei der qualitativen Inhaltsanalyse gebildet wurden, wurde ein dreistufiges Punktesystem gewählt. Alle Antworten in den sechs Interviewteilen (1) *Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten*, (2) *Gründe für Fehler*, (3) *Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können*, (4) *Fehler beim Experimentieren*, (5) *Entstehung von Beobachtungsfehlern* und (6) *Umgang der Schüler*innen als Naturwissenschaftler*innen* mit Fehlern wurden mit den Punkten 0, 1 und 2 bewertet.

Im ersten Bereich (1) *Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten* wurde die volle Punktzahl von 2 vergeben, wenn Fehler direkt erwähnt wurden. Dazu zählen konkrete Erwähnungen von Fehlern oder Aussagen darüber, etwas falsch zu machen oder zu verbessern. Auch Aussagen darüber, dass etwas anders gemacht werden muss, gehören diesem Bereich an. Zur direkten Erwähnung von Fehlern zählen demnach alle Aussagen, die implizieren, dass etwas nicht funktioniert oder nicht funktionieren könnte. 1 Punkt wurde vergeben, wenn Fehler indirekt erwähnt wurden. Dazu gehörten Aussagen, dass man etwas versucht zu machen, etwas ausprobiert oder experimentiert. 0 Punkte wurden vergeben, wenn trotz einer ausführlichen Beschreibung des Prozesses Fehler nach obigen Kriterien weder direkt noch indirekt erwähnt wurden.

Im Bereich (2) *Gründe für Fehler*, dem Warum, wurden 2 Punkte vergeben, wenn Gründe für Fehler aus mindestens drei unterschiedlichen Subkategorie genannt wurden. 1 Punkt erhielten die Schüler*innen, wenn sie Gründe für Fehler aus zwei unterschiedlichen Subkategorien nannten, und 0 Punkte erhielten sie, wenn sie keine Gründe wussten oder nur eine Subkategorie nannten.

Im Bereich (3) *Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können*, also der Frage nach dem Wo, wurden 2 Punkte vergeben, wenn die Schüler*innen drei oder mehr unterschiedliche Momente aufzählten, in welchen Fehler passieren können. 1 Punkt wurde vergeben, wenn sie einen bis zwei unterschiedliche Momente aufzählten. 0 Punkte erhielten sie, wenn sie sagten, dass Fehler in einem gewissen Moment nicht passieren können. Dies galt auch, wenn sie weitere Momente korrekt aufzählten.

Im Bereich (4) *Fehler beim Experimentieren* können Fehler bei der Planung, bei der Umsetzung oder bei der Auswertung passieren. Wurden Fehler genannt, die sich auf zwei dieser drei Momente beziehen, wurden 2 Punkte vergeben. Bezogen sich die genannten Fehler auf nur einen dieser drei Momente, wurde 1 Punkt vergeben. 0 Punkte erhielten die Schüler*innen, wenn sie nicht wussten, was für Fehler beim Experimentieren passieren können. Auch 0 Punkte erhielten sie wenn sie gesagt haben, dass keine oder wenige Fehler in einem gewissen Moment passieren würden, auch wenn sie weitere Fehler richtig aufgezählten.

Im Bereich (5) *Beobachtungsfehler* erhielten die Schüler*innen die volle Punktzahl von 2, wenn sie einen rein menschlichen oder einen menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss als Grund nannten und wenn sie keine falsche Begründung machten. 1 Punkt erhielten sie, wenn sie trotz einer falschen Aussage einen rein menschlichen oder einen menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss als Grund für die Entstehung eines Beobachtungsfehlers angaben. 0 Punkte erhielten sie, wenn sie nicht wussten, wie Beobachtungsfehler entstehen können, oder wenn ihre Aussagen falsch waren.

Im letzten Bereich (6) *Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern* kann der Umgang auf der affektiven-motivationalen, kognitiven oder behavioralen Ebene beschrieben werden. 2 Punkte wurden vergeben, wenn der Umgang mit Fehlern relativiert und auf zwei oder drei Ebenen beschrieben wurde. Das bedeutet, dass auf der affektiv-motivationalen Ebene auch negative Gefühle genannt werden durften, sofern der kognitive oder behaviorale Umgang danach positiv beschrieben wird. 1 Punkt erhielten sie, wenn sie den Umgang mit Fehlern relativieren und diesen auf einer der drei oben genannten Ebenen beschrieben. 0 Punkte erhielten die Schüler*innen, wenn sie einen absolut negativen Umgang mit Fehlern beschrieben.

5.5.5 Interrater-Reliabilität

Nachdem sowohl das Kategoriensystem als auch das Raster zur Punktevergabe für die Quantifizierung fertiggestellt und nochmals überprüft worden waren, wurde eine Interrater-Schulung mit einer Interraterin durchgeführt. Die Interraterin war zu diesem Zeitpunkt Dissertantin an der Universität Salzburg und beschäftigte sich in ihrer Dissertation unter anderem auch mit Interviews. Es wurde vereinbart, dass ein Teil der Interviews gegenseitig geratet wird. Vor dem Start fand eine Schulung statt, für welche der Raterin im Vorhinein der Interviewleitfaden, das Kategoriensystem und das Raster zur Punktevergabe zugesendet wurden. Alle drei Dokumente wurden von ihr vor der Schulung studiert.

Bei der Schulung wurden das Kategoriensystem und das Raster erläutert und Hinweise zum Codieren gegeben. Im Anschluss wurde anhand eines ausgewählten Interviews (I4_JU02) gezeigt, wie codiert wurde, um die Punkte zu vergeben. Beim Interraten ging es nicht darum, die Textstellen lediglich zu codieren, sondern um die Vergabe der Punkte, also die Quantifizierung. Nach der Demonstration des Codierens und der Punktevergabe codierte und vergab die Interraterin im Interview 16 (I16_KA11) die Punkte allein. Danach wurden die Punktevergabe besprochen und miteinander verglichen. Lediglich in der Kategorie *Aspekte zum Vorgehen beim naturwissenschaftlichen Arbeiten* gab es eine Uneinigkeit. Dabei wurde festgestellt, dass die Verfasserin dieser Arbeit den Punkt falsch vergab. Bei allen anderen Kategorien, *Gründe für Fehler (Warum)*, *Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo)*, *Fehler beim Experimentieren*, *Entstehung Beobachtungsfehler* und *Umgang von Wissenschaftler*innen mit Fehlern*, stimmten die Punktevergaben überein.

Aufgrund der hohen Übereinstimmung und da die Interraterin keine weiteren Fragen hatte oder Unklarheiten auftauchten, wurden ihr sechs Interviews zum Interraten gegeben. Mit den sechs Interviews wurden 20 % der Interviews doppelt codiert. Üblicherweise wird vorgeschlagen, 10–20 % des vorliegenden Datenmaterials zur Reliabilitätsprüfung hinzuzuziehen (vgl. Döring & Bortz, 2016). Mit den sechs Interviews wurde der Interraterin noch ein angepasstes Kategoriensystem gegeben. In diesem Kategoriensystem wurden Ankerbeispiele gelöscht oder ersetzt, welche Textstellen aus den sechs ausgewählten Interviews aufzeigten.

Die Interraterin vergab die Punkte für alle sechs Interviews an einem Tag und kontrollierte die gesamte Punktevergabe am nachfolgenden Tag. Nach Abschluss des Interratens sendete sie ihre Punktevergabe inklusive Kommentare zurück. Die Punktevergabe wurde verglichen (Tabelle 47), eine Übereinstimmungsmatrix erstellt (Tabelle 48) und Cohen's Kappa berechnet.

Tabelle 47: Vergleich Punktevergabe Quantifizierung t_1 (unterschiedliche Punktevergabe grau hinterlegt)

Interview	Kategorie	Raterin 1	Raterin 2
I2_CH19	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1	1
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1	1
	Fehler beim Experimentieren	2	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	1	1
I6_FR16	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1	2
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1	1
	Fehler beim Experimentieren	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2
I28_NE02	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	2	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	2	1
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	0	1
	Fehler beim Experimentieren	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	2	2
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2
I8_CH06	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	2	2
	Gründe für Fehler (Warum?)	0	0
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	2	2
	Fehler beim Experimentieren	0	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	2	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2
I12_AL21	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	0	0
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	0	1
	Fehler beim Experimentieren	1	2
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	1
I19_LI17	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1	1

Interview	Kategorie	Raterin 1	Raterin 2
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1	2
	Fehler beim Experimentieren	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2

Tabelle 48: Übereinstimmungsmatrix t_1 (Raterin 1 = Autorin, Raterin 2 = Interraterin)

		Raterin 1			
		2	1	0	
Raterin 2	2	7	3	0	10
	1	4	12	3	19
	0	1	0	6	7
Gesamt		12	15	9	36

Cohen's Kappa ist ein zufallsbereinigtes Maß der Übereinstimmung der Rater*innen in ihren Urteilen, das sich mit der Formel

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

berechnen lässt, und es berücksichtigt einerseits die gemessene Übereinstimmung, bereinigt diese aber andererseits um mögliche zufällige Übereinstimmungen (Bortz & Döring, 2006).

Brennan und Prediger (1981) schlagen vor, den korrigierten Kappa-Wert zu berechnen, da bei geringer Zellenbesetzung und vorwiegend bei ungleicher Randverteilung die Konkordanz unterschätzt wird. Der korrigierte Kappa-Wert lässt sich mit der Formel

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

berechnen.

Für die Berechnung des korrigierten Kappa-Werts wurde zuerst p_0 mit der Formel

$$p_0 = \frac{\sum \text{der Übereinstimmungen}}{\text{Gesamtzahl}}$$

berechnet.

Von insgesamt 36 Urteilen wurden 22 Übereinstimmungen festgestellt. Dies ergibt für p_0 :

$$p_0 = \frac{7+12+6}{36} = \frac{22}{36} = 0.61.$$

Da in der vorliegenden Studie aufgrund der Quantifizierung drei Kategorien (2, 1, 0) verwendet wurden, wurde in der Formel für den korrigierten Kappa-Wert $z = 3$ eingesetzt:

$$K_n = \frac{p_0 - \frac{1}{z}}{1 - \frac{1}{z}} = \frac{0.61 - \frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}} = 0.42.$$

Da der Wert zu tief war, wurde die Punkteverteilung mit der Interraterin besprochen. In drei Diskrepanzen bei der Punkteverteilung verstand die Interraterin das Punkteraster falsch. Sie vergab beispielsweise Punkte, obwohl die Schüler*innen sagten, dass Fehler in einem gewissen Moment nicht passieren oder keine Fehler beim Experimentieren passieren können. Gemeint war in diesen Fällen, dass sie 0 Punkte erhalten, sobald einer dieser Aussagen gemacht wurde, obwohl sie weitere Momente aufzählten, in denen Fehler passieren könnten, oder weitere Fehler beim Experimentieren aufzählten. Die Interraterin zählte im besagten Beispiel die weiteren Momente und weiteren Fehler beim Experimentieren trotzdem. Daher wurde diesen drei Fällen nun 0 Punkte gegeben (1*). In einem Fall wurde ein Fehler im Kategoriensystem entdeckt, der zur falschen Punktevergabe führte. Daher wurde das Kategoriensystem angepasst und die Interraterin würde gemäß dem neuen System nun auch 2 Punkte statt 1 Punkt vergeben (2*). In zwei Fällen würde die Interraterin aufgrund der Besprechung neu auch 2 Punkte statt 1 Punkt geben, da sie gewisse Informationen überlas (3*). In zwei weiteren Fällen würde die Autorin aufgrund der Besprechung 2 Punkte statt 1 Punkt geben, da auch sie gewisse Informationen überlas (4*). In den drei noch übrig gebliebenen Fällen wurden die Aussagen anders interpretiert und die Unstimmigkeit blieb bestehen (5*). In der nachfolgenden Tabelle 49 sind die oben beschriebenen Anpassungen markiert. In den Fällen 1* bis 4* wurden die Punkte angepasst. Die Fälle 5* wurden belassen. Aufgrund der Anpassungen wurden noch einmal eine Übereinstimmungsmatrix erstellt (Tabelle 50) sowie der korrigierte Kappa-Wert berechnet.

Tabelle 49: Vergleich Punktevergabe Quantifizierung t_2 (1* = Missverständnis Punkte-
raster, 2* = Fehler im Kategoriensystem, 3* = Interraterin bepunktete falsch, 4* = Autorin
bepunktete falsch, 5* Unstimmigkeiten)

		Raterin 1		Raterin 2	
Interview	Kategorie	t_1	t_2	t_1	t_2
I2	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1	1	1	1
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1	1	1	1
	Fehler beim Experimentieren	2 ^{5*}	2	1 ^{5*}	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	1	1	1	1
I6	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1 ^{4*}	2	2 ^{4*}	2
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1	1	1	1
	Fehler beim Experimentieren	1	1	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2	2	2
I28	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	2 ^{3*}	2	1 ^{3*}	2
	Gründe für Fehler (Warum?)	2 ^{3*}	2	1 ^{3*}	2
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	0 ^{1*}	0	1 ^{1*}	0
	Fehler beim Experimentieren	1	1	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	2	2	2	2
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2	2	2
I8	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	2	2	2	2
	Gründe für Fehler (Warum?)	0	0	0	0
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	2	2	2	2
	Fehler beim Experimentieren	0 ^{1*}	0	1 ^{1*}	0
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	2 ^{5*}	2	0 ^{5*}	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2	2	2
I12	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	0	0	0	0
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	0 ^{1*}	0	1 ^{1*}	0

		Raterin 1		Raterin 2	
Interview	Kategorie	t ₁	t ₂	t ₁	t ₂
	Fehler beim Experimentieren	1 ^{5*}	1	2 ^{5*}	2
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2 ^{2*}	2	1 ^{2*}	2
I19	Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	1	1	1	1
	Gründe für Fehler (Warum?)	1	1	1	1
	Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)	1 ^{4*}	2	2 ^{4*}	2
	Fehler beim Experimentieren	1	1	1	1
	Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern	0	0	0	0
	Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern	2	2	2	2

Tabelle 50: Übereinstimmungsmatrix t₂ (Raterin 1 = Autorin, Raterin 2 = Interraterin)

		Raterin 1			
		2	1	0	
Raterin 2	2	12	1	0	13
	1	1	12	0	13
	0	1	0	9	10
Gesamt		14	13	9	36

Um den korrigierten Kappa-Wert zum Zeitpunkt t₂ zu berechnen, wurde auch hier zuerst p₀ berechnet. Es wurden nun von insgesamt 36 Urteilen 33 Übereinstimmungen festgestellt. Dies ergibt für p₀:

$$p_0 = \frac{12+12+9}{36} = \frac{33}{36} = 0.92.$$

Da, wie oben bereits beschrieben, aufgrund der Quantifizierung drei Kategorien (2, 1, 0) verwendet wurden, wurde in der Formel für den korrigierten Kappa-Wert z = 3 eingesetzt:

$$K_n = \frac{p_0 - \frac{1}{z}}{1 - \frac{1}{z}} = \frac{0.92 - \frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}} = 0.88.$$

Da der K-Wert größer als 0.60 ist, weist das Interraten nach Fleiss und Cohen (1973) eine gute Übereinstimmung der Punktevergaben auf.

6 Ergebnisse

6.1 Ergebnisse Fragebogenstudie

Die Ergebnisse der Fragebogenstudie werden in fünf Abschnitten, aufgeteilt in die Fragestellungen 1–5, dargestellt. Im ersten Abschnitt werden die Ergebnisse der ersten Forschungsfrage, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen der Sekundarstufe I auf deren intrinsische Motivation für das visuelle Programmieren auswirkt, dargestellt (F1). Im zweiten Abschnitt werden die Ergebnisse des Einflusses des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern dargestellt (F2). Im dritten Abschnitt werden die Ergebnisse der direkten (F3.1) und nachhaltigen (F3.2) Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern präsentiert. Analog dazu werden im vierten Abschnitt die Ergebnisse der direkten (F4.1) und nachhaltigen (F4.2) Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten dargestellt. Im fünften und letzten Abschnitt zu den quantitativen Ergebnissen werden die Ergebnisse der Forschungsfragen zur wechselseitigen Wirkung des Verständnisses von NOS-Aspekten mit dem Umgang mit Fehlern über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 (F5.1) sowie die Ergebnisse zur Stabilität des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten und dem Umgang mit Fehlern über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 (F5.2) dargestellt.

6.1.1 Einfluss des Umgangs mit Fehlern auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren

Um die Fragestellung 1 zu untersuchen, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen der Sekundarstufe I auf deren intrinsische Motivation für das visuelle Programmieren auswirkt, wurde ein Strukturgleichungsmodell gerechnet (Abbildung 21). Die Hypothesen 1.1 und 1.2 konnten bestätigt werden, die Hypothese 1.3 wurde widerlegt. Die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen wies einen kleinen, aber signifikanten Effekt auf die intrinsische Motivation der Schüler*innen zum visuellen Programmieren auf ($\beta = 0.156$, $p = 0.002$; Hypothese 1.1).

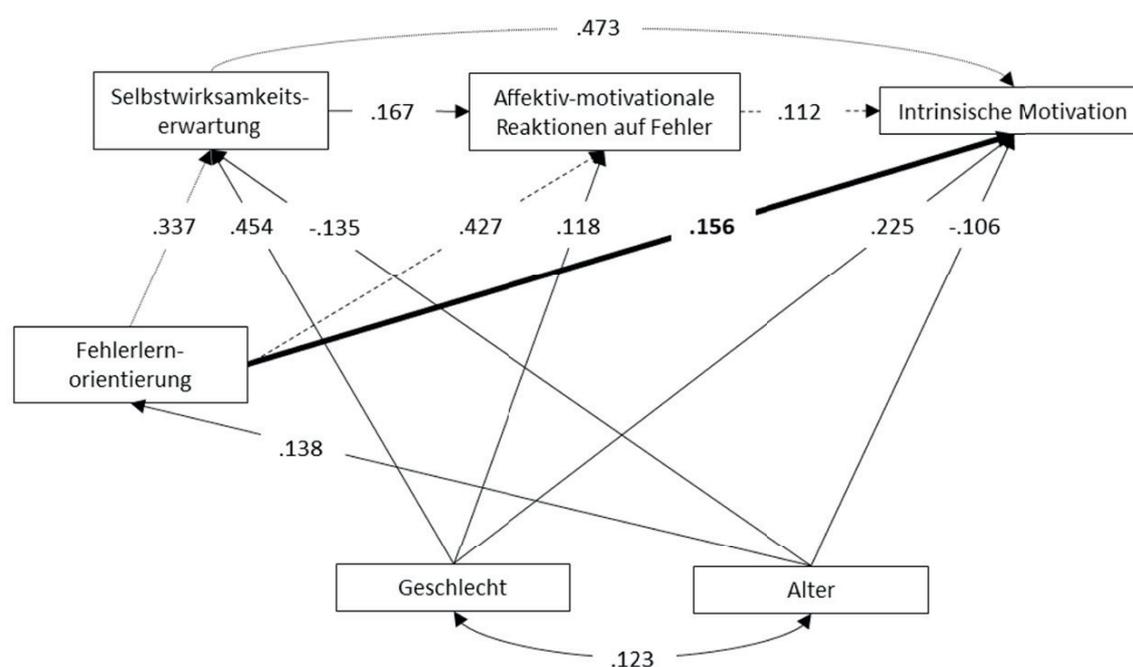


Abbildung 21: Strukturgleichungsmodell zum Einfluss der Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren; alle Pfade signifikant: $p < 0.05$; standardisierte Schätzwerte (Schmid et al., 2022)

Darüber hinaus zeigten die Ergebnisse einen indirekten Effekt der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen auf deren intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren über die Selbstwirksamkeitserwartung (gestrichelter Pfad, $\beta = 0.159$, $p < 0.001$). Die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler*innen für das visuelle Programmieren wirkte als Mediator zwischen deren Fehlerlernorientierung und intrinsischer Motivation für das visuelle Programmieren. Diese höhere Selbstwirksamkeitserwartung führte zu einem positiven Einfluss auf die intrinsische Motivation (Hypothese 1.2).

In Bezug auf die Hypothese 1.3 zeigte sich nur ein kleiner, indirekter Effekt der Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation für visuelles Programmieren über die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler (fehlerbezogene Emotionen) (gestrichelter Pfad, $\beta = 0.048$, $p = 0.033$). Die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wirkten also nicht als Mediator zwischen Fehlerlernorientierung und intrinsischer Motivation (Schmid et al., 2022).

Wie bereits im Kapitel 3.1 erwähnt, sind die ausführlichen Ergebnisse im Artikel *The Influence of Error Learning Orientation on Intrinsic Motivation for Visual Programming in STEM Education* von Schmid et al. (2022) zu finden.

6.1.2 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern

Zur Prüfung der Fragestellung 2, inwiefern das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten den Umgang mit Fehlern beeinflusst, wurden, wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, unterschiedliche Strukturgleichungsmodelle gerechnet.¹⁸

6.1.2.1 Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die Fehlerlernorientierung

Das Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *Fehlerlernorientierung*, unter Hinzuziehung der Kontrollvariablen *Geschlecht*, *Alter*, *Niveau* und *Schulstufe* (Abbildung 22), wies, wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 139.15$, $df = 99$, $p = 0.005$, $\chi^2/df = 1.41$; RMSEA = 0.04, CFI = 0.94 und TLI = 0.93 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Das Strukturgleichungsmodell zeigte, dass das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten einen starken und signifikanten Effekt ($\beta = 0.60$, $p < 0.001$) auf die Fehlerlernorientierung aufwies. Die Hypothese 2.1 wurde somit bestätigt.

¹⁸ Die Hypothesen 2.3, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Einfluss auf die Fehlerangst hat, und die Hypothese 2.5, dass der Effekt zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und der Fehlerangst über die Fehlerlernorientierung vermittelt wird, konnten nicht beantwortet werden, da die Fehlerangst, wie in Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

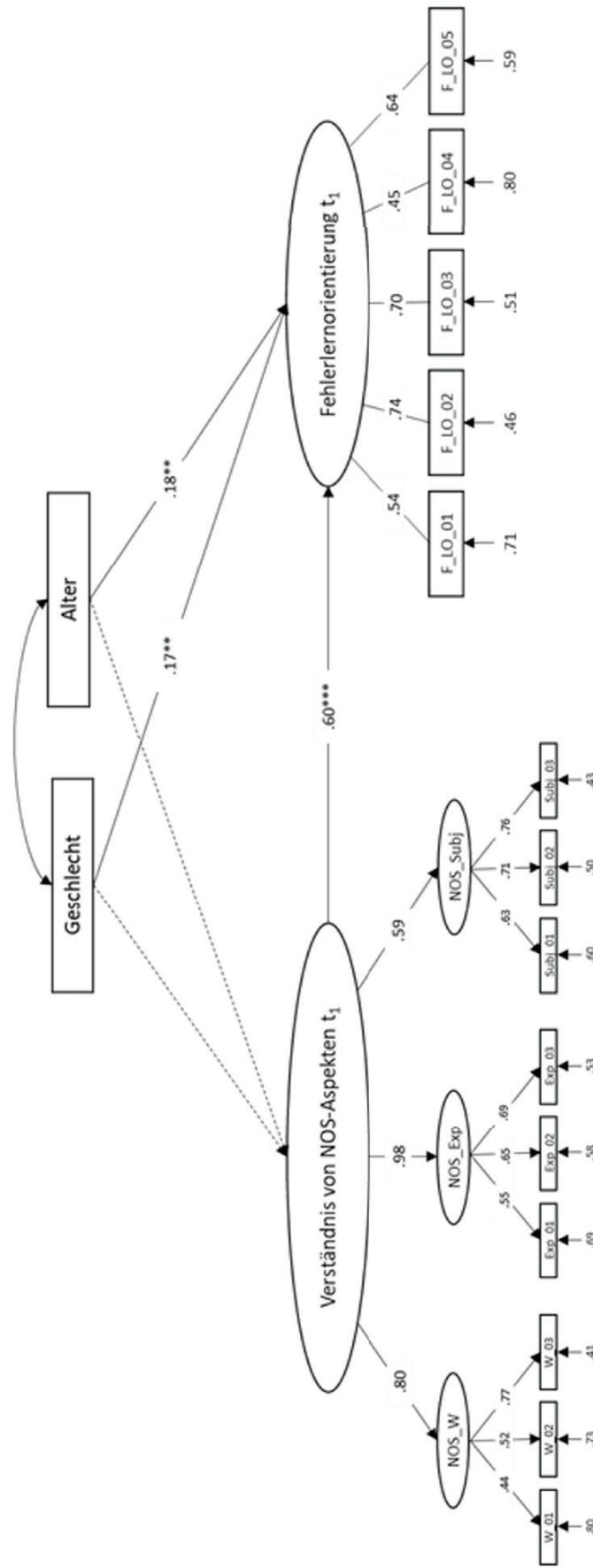


Abbildung 22: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable Fehlerlernorientierung; ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; standardisierte Schätzwerte

Das Geschlecht hatte einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung, aber keinen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten. Somit hatten Schülerinnen in der Stichprobe eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als Schüler ($\beta = .17, p = 0.01$). Das Alter hatte außerdem einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung ($\beta = .18, p = 0.01$), aber wiederum keinen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten. Ältere Schüler*innen hatten eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als jüngere Schüler*innen.

Insgesamt werden 40.9 % der Varianz der Fehlerlernorientierung durch das Modell erklärt.

6.1.2.2 Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler

Das Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*, unter Hinzuziehung der Kontrollvariablen *Geschlecht, Alter, Niveau* und *Schulstufe* (Abbildung 23), wies, wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 175.40$, $df = 113$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.55$; RMSEA = 0.05, CFI = 0.93 und TLI = 0.92 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Das Ergebnis des Strukturgleichungsmodells der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zeigte, dass das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten einen mittelstarken und signifikanten Effekt ($\beta = 0.38, p < 0.001$) auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler aufwies. Somit wurde die Hypothese 2.2 bestätigt.

Das Geschlecht hatte einen schwach negativen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler. Somit hatten Schüler in vorliegender Stichprobe positivere affektiv-motivationale Reaktionen als Schülerinnen ($\beta = -.21, p = 0.001$). Das Alter hatte einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung ($\beta = .15, p = 0.05$). Ältere Schüler*innen hatten schwach positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler als jüngere Schüler*innen.

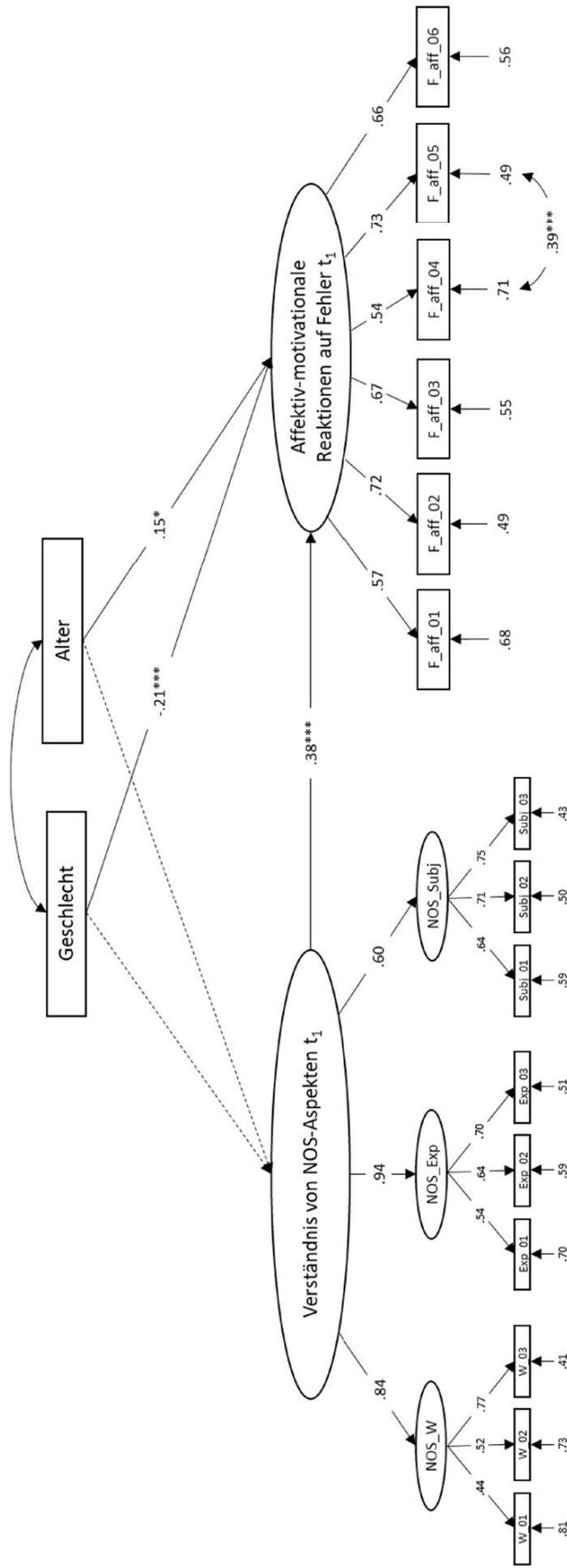


Abbildung 23: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; standardisierte Schätzwerte

Insgesamt werden 21.5 % der Varianz der affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler durch das Modell erklärt.

6.1.2.3 Mediationseffekt der Fehlerlernorientierung zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler

Das Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängigen Variablen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*, unter Hinzuziehung der Kontrollvariablen *Geschlecht*, *Alter*, *Niveau* und *Schulstufe* (Abbildung 24), wies, wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 293.87$, $df = 200$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.47$; RMSEA = 0.04, CFI = 0.92 und TLI = 0.91 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Die Ergebnisse des Strukturgleichungsmodells zeigten, dass das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten einen starken und signifikanten Effekt ($\beta = 0.60$, $p < 0.001$) auf die Fehlerlernorientierung aufwies. Im Gegensatz dazu zeigten die Ergebnisse, dass das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten keinen Effekt ($\beta = -0.01$, $p = 0.95$) auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler aufwies. Die Ergebnisse zeigten jedoch einen mittelstarken indirekten Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler über die Fehlerlernorientierung ($\beta = 0.39$, $p < 0.001$). In anderen Worten, die Fehlerlernorientierung agierte als Mediator zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler. Somit wurde auch die Hypothese 2.3 bestätigt. Des Weiteren hatte die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen einen starken und signifikanten Effekt auf deren affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler ($\beta = 0.66$, $p < 0.001$). Das Geschlecht hatte einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung und einen negativen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler. Somit hatten Schülerinnen in der Stichprobe eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als Schüler ($\beta = .18$, $p = 0.01$), aber Schüler

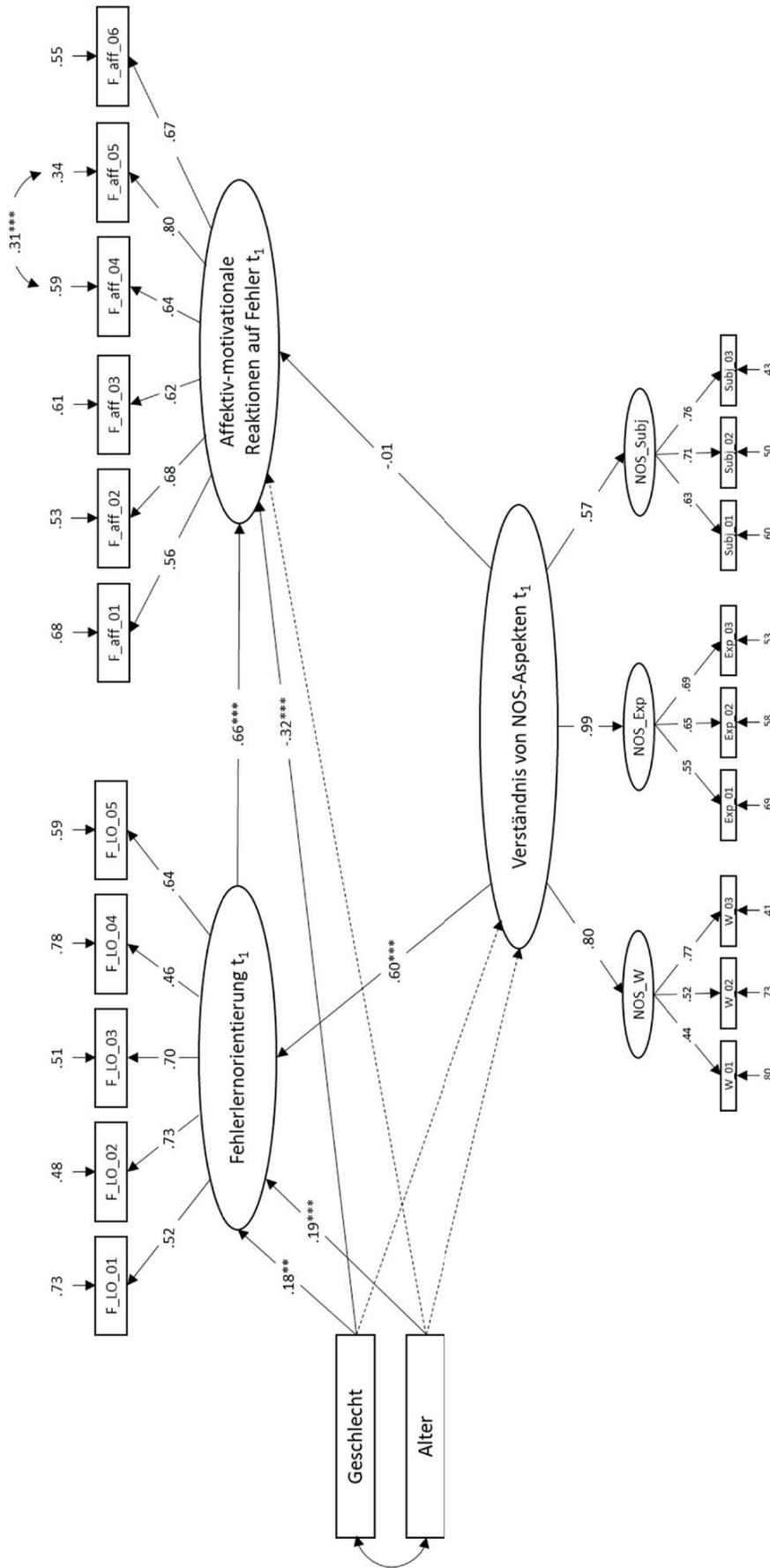


Abbildung 24: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängigen Variablen Fehlerlernorientierung und affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler; ***p < 0.001; **p < 0.01; *p < 0.05; standardisierte Schätzwerte

hatten positivere affektiv-motivationale Reaktionen als Schülerinnen ($\beta = -.32, p < 0.001$). Das Alter hatte einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung ($\beta = .19, p < 0.001$). Ältere Schüler*innen hatten eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als jüngere Schüler*innen.

Insgesamt werden 41.1 % der Varianz der Fehlerlernorientierung und 46.6 % der Varianz der affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler durch das Modell erklärt. Der insgesamt Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ist signifikant ($\beta = .38, p < 0.001$). Der direkte Pfad, das heißt der Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler, ist nicht signifikant ($\beta = -.01, p = 0.95$). Der indirekte Pfad über die Fehlerlernorientierung zeigt einen mittelstarken, signifikanten Effekt ($\beta = .39, p < 0.001$).

6.1.3 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern

Um zu untersuchen, inwiefern sich der Umgang der Schüler*innen der Sekundarstufe I mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen lässt (F3.1) und inwiefern die Wirkung auf den Umgang mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist (F3.2), wurden multiple Regressionen gerechnet.¹⁹ Bevor jedoch die multiplen Regressionen gerechnet wurden, wurde, wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, in einem ersten Schritt geprüft, ob sich die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe in den zwei Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektive-motivationale Reaktionen auf Fehler* zu den drei Zeitpunkten unterscheiden. Um dies statistisch zu überprüfen, wurden *t*-Tests für

¹⁹ Die Hypothesen 3.1.3, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe direkt nach der Intervention weniger Angst vor Fehlern haben als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, und die Hypothese 3.2.3, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe auch zwei Monate nach der Intervention weniger Angst vor Fehlern haben als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, konnten nicht beantwortet werden, da die Fehlerangst, wie in Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

unabhängige Stichproben durchgeführt. Für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 zeigte sich der t -Test nicht signifikant ($t(267) = -.15, p = .81$). Die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zur Fehlerlernorientierung unterschieden sich zum Zeitpunkt t_1 nicht.

Für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_1 zeigte sich der t -Test signifikant ($t(267) = -2.44, p = .02$). Die Mittelwerte der beiden Gruppen sind demnach unterschiedlich. Um zu beurteilen, wie bedeutsam dieses Ergebnis ist, wurde die Effektstärke nach Cohen (1988) berechnet. Für die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ergab sich eine Effektstärke von $d = -.30$, was nach Cohen (1988) einem schwachen Effekt entspricht. Trotz des schwachen, signifikanten Effekts wurden die Mittelwerte als vergleichbar betrachtet (Kap. 5.3.2).

Für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe bei der Fehlerlernorientierung zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 zeigte sich der t -Test nicht signifikant ($t(244) = -.31, p = .76$ bzw. $t(245) = -1.74, p = .08$). Somit unterscheiden sich die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zur Fehlerlernorientierung auch zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 nicht.

Für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 zeigte sich der t -Test signifikant ($t(239) = -2.12, p = .04$ bzw. $t(244) = -3.16, p = .002$). Die Effektstärke nach Cohen (1988) zeigte, dass es einen schwachen ($d = -.28$) bzw. mittleren Effekt ($d = .41$) gibt.

In einem zweiten Schritt wurde jeweils längsschnittlich geprüft, ob die Intervention eine Wirkung auf die Fehlerlernorientierung und die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 hatte. Dazu wurden jeweils multiple Regressionen gerechnet.

6.1.3.1 Direkte Wirkung auf die Fehlerlernorientierung

Das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 zeigte ein signifikantes Ergebnis

($F(6,224) = 33.27, p < .001, n = 231$) (Tabelle 51). Es zeigte sich, dass die Fehlerlernorientierung von t_1 zu t_2 relativ stabil blieb ($\beta = 0.69, p < 0.001$). Die Intervention wies keinen Effekt auf ($\beta = 0.03, p = 0.63$). Dies bedeutet, dass sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen durch die Intervention nicht signifikant veränderte. Weder das Geschlecht noch das Alter noch das Niveau noch die Jahrgangsstufe hatten einen Einfluss auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 . Die Prädiktoren erklären 46 % der Gesamtstreuung der Variable *Fehlerlernorientierung* zum Zeitpunkt t_2 .

Die Hypothese 3.1.1 wurde somit widerlegt. Die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe hatten nach der Intervention keine höhere Fehlerlernorientierung als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Die Intervention zum Umgang mit Fehlern hatte keinen Effekt auf die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen aus der Interventionsgruppe.

Tabelle 51: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	.05	.80	
Fehlerlernorientierung t_1	.85***	.06	.69***
Intervention	.04	.09	.03
Geschlecht	-.08	.09	-.00
Alter	-.05	.05	.06
Niveau	-.05	.10	-.02
Jahrgangsstufe	-.09	.09	.08
R^2	.47		
korr. R^2	.46		
$F(df=6; 224)$	33.27***		

Anmerkungen: Codierung Fehlerlernorientierung 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; abhängige Variable: Fehlerlernorientierung t_2

6.1.3.2 Direkte Wirkung auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler

Das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 zeigte ein signifikantes Ergebnis ($F(6,219) = 39.33, p < .001, n = 231$) (Tabelle 52). Auch die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sind relativ stabil geblieben ($\beta = 0.72, p < 0.001$). Die Intervention wies keinen Effekt auf ($\beta = 0.00, p = 0.93$). Dies bedeutet, dass sich die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler durch die Intervention nicht signifikant verändert haben. Weder das Geschlecht noch das Alter noch das Niveau noch die Jahrgangsstufe hatten einen Einfluss auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2 . Die Prädiktoren erklären 50 % der Gesamtstreuung der Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zum Zeitpunkt t_2 .

Tabelle 52: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	.42	.89	
Affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler t_1	.85***	.06	.72***
Intervention	.01	.10	.00
Geschlecht	.06	.10	.03
Alter	.02	.07	.02
Niveau	-.00	.12	-.00
Jahrgangsstufe	.02	.10	.01
R^2	.52		
korr. R^2	.50		
$F(df=6; 219)$	39.33***		

Anmerkungen: Codierung affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; abhängige Variable: affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler t_2

Somit wurde auch die Hypothese 3.1.2 widerlegt. Die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe hatten nach der Intervention keine positiveren affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ($F_{\text{aff_mot_REA}}$) als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Die Intervention zum Umgang mit Fehlern hatte auch in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler keinen Effekt auf Schüler*innen aus der Interventionsgruppe.

6.1.3.3 Nachhaltige Wirkung auf die Fehlerlernorientierung

Das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 zeigte ein signifikantes Ergebnis ($F(2,207) = 12.80, p < .001, n = 231$) (Tabelle 53). Es zeigte sich, dass die Fehlerlernorientierung auch zum Zeitpunkt t_3 relativ stabil blieb ($\beta = 0.48, p < 0.001$). Die Intervention wies keinen Effekt auf ($\beta = 0.12, p = 0.05$). Dies bedeutet, dass sich die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen auch zwei Monate nach der Intervention nicht signifikant veränderte. Jedoch hatte das Niveau der Schüler*innen zum Zeitpunkt t_3 einen Einfluss auf die Fehlerlernorientierung ($\beta = -.15, p = 0.02$). Schüler*innen aus der Sekundarstufe (höheres Niveau) hatten eine leicht höhere Fehlerlernorientierung als Schüler*innen der Realstufe (niedrigeres Niveau). Das Geschlecht, das Alter und die Jahrgangsstufe hatten keinen Einfluss auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 . Die Prädiktoren erklären 25 % der Gesamtstreuung der Variable *Fehlerlernorientierung* zum Zeitpunkt t_3 .

Die Hypothese 3.2.1 wurde somit widerlegt. Die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe hatten zwei Monate nach der Intervention keine höhere Fehlerlernorientierung als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

Tabelle 53: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	.68	.98	
Fehlerlernorientierung t_2	.47***	.06	.48***
Intervention	.22	.11	.12
Geschlecht	.03	.11	.01
Alter	.14	.08	.16
Niveau	-.30*	.13	-.15*
Jahrgangsstufe	-.20	.11	-.18
R^2	.27		
korr. R^2	.25		
$F(df=2; 207)$	12.80***		

Anmerkungen: Codierung Fehlerlernorientierung 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; abhängige Variable: Fehlerlernorientierung t_3

6.1.3.4 Nachhaltige Wirkung auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler

Auch hier zeigte das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3 ein signifikantes Ergebnis ($F(6,202) = 23.19$, $p < .001$, $n = 231$) (Tabelle 54). Es zeigte sich, dass die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auch zum Zeitpunkt t_3 stabil blieben ($\beta = 0.60$, $p < 0.001$). Jedoch wies die Intervention einen schwachen, aber signifikanten Effekt auf ($\beta = 0.12$, $p = 0.04$). Dies bedeutet, dass es einen schwachen Unterschied zwischen den Schüler*innen der Interventions- und Kontrollgruppe gibt. Schüler*innen der Interventionsgruppe hatten zwei Monate nach der Intervention positivere affektiv-motivationale Reaktionen als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Das Geschlecht, das Alter, das Niveau und die Jahrgangsstufe hatten keinen Einfluss auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3 . Die Prädiktoren

erklären 39 % der Gesamtstreuung der Variable *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zum Zeitpunkt t_3 .

Die Hypothese 3.2.2 wurde somit bestätigt. Die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen sind gesamthafte relativ stabil geblieben. Dennoch gab es zum Zeitpunkt t_3 einen schwachen Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Schüler*innen der Kontrollgruppe zeigten zu t_3 tiefere affektiv-motivationalen Reaktionen als Schüler*innen der Interventionsgruppe.

Tabelle 54: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	.62	.92	
Affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler t_2	.52***	.05	.60***
Intervention	.21*	.10	.12*
Geschlecht	.00	.10	.00
Alter	.08	.08	.09
Niveau	-.01	.12	-.01
Jahrgangsstufe	-.03	.10	-.03
R^2	.41		
korr. R^2	.39		
F(df=6; 202)	23.19***		

Anmerkungen: Codierung affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ abhängige Variable: affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler t_3

6.1.4 Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 zeigte sich der t -Test nicht signifikant ($t(267) = .79, p = .43$). Die Mittelwerte der Kontroll-

und Interventionsgruppe zum Verständnis von NOS-Aspekten unterschieden sich zum Zeitpunkt t_1 nicht.

Auch für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 zeigte sich der t -Test nicht signifikant ($t(244) = -.59, p = .59$). Die Mittelwerte der Kontroll- und Interventionsgruppe zum Verständnis von NOS-Aspekten unterschieden sich auch zum Zeitpunkt t_2 nicht.

Jedoch zeigte sich der t -Test für den Gruppenunterschied Kontroll- und Interventionsgruppe beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 signifikant ($t(245) = -2.98, p = .003$). Nach Cohen (1988) ist dies ein schwacher Effekt ($d = -.38$). Somit unterschieden sich die Kontroll- und Interventionsgruppe zum Zeitpunkt t_3 leicht im Verständnis von NOS-Aspekten.

In einem zweiten Schritt wurde jeweils längsschnittlich geprüft, ob die Intervention eine Wirkung auf das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 hatte. Dazu wurden jeweils multiple Regressionen gerechnet.

6.1.4.1 Direkte Wirkung auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 zeigte ein signifikantes Ergebnis ($F(6,224) = 29.90, p < .001, n = 231$) (Tabelle 55). Es zeigte sich, dass das Verständnis von NOS-Aspekten relativ stabil blieb ($\beta = 0.63, p < 0.001$). Die Intervention wies keinen Effekt auf ($\beta = 0.10, p = 0.07$). Dies bedeutet, dass sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten durch die Intervention nicht signifikant veränderte. Jedoch hatte das Niveau der Schüler*innen einen Einfluss auf das Verständnis von NOS-Aspekten ($\beta = -.15, p = 0.01$). Der negative Wert weist darauf hin, dass die Schüler*innen aus der Sekundarstufe ein leicht adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus der Realstufe. Die Prädiktoren erklären 43 % der Gesamtstreuung der Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* zum Zeitpunkt t_2 .

Die Hypothese 4.1.1 wurde somit widerlegt. Die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe hatten nach der Intervention kein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Die Intervention hatte somit keinen Einfluss auf das Verständnis von NOS-Aspekten.

Tabelle 55: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	.13	.78	
Verständnis von NOS-Aspekten t_1	.82***	.07	.63***
Intervention	.16	.08	.10
Geschlecht	.07	.08	.05
Alter	.06	.06	.08
Niveau	-.27**	.10	-.15**
Jahrgangsstufe	-.15	.08	-.14
R^2	.45		
korr. R^2	.43		
$F(df=6; 224)$	29.90***		

Anmerkungen: Codierung Verständnis von NOS-Aspekten 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; abhängige Variable: Verständnis von NOS-Aspekten t_2

6.1.4.2 Nachhaltige Wirkung auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Auch hier zeigte das Regressionsmodell zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 ein signifikantes Ergebnis ($F(6,207) = 14.76$, $p < .001$, $n = 231$) (Tabelle 56). Es zeigte sich, dass das Verständnis von NOS-Aspekten auch zum Zeitpunkt t_3 relativ stabil geblieben ist ($\beta = 0.48$, $p < 0.001$). Die Intervention wies einen schwachen, aber signifikanten Effekt auf ($\beta = 0.15$, $p = 0.02$). Dies bedeutet, dass sich das Verständnis von NOS-Aspekten auch zwei Mo-

nate nach der Intervention nicht signifikant veränderte, es jedoch einen Unterschied zwischen den Schüler*innen der Interventions- und Kontrollgruppe gibt. Weder das Geschlecht noch das Alter noch das Niveau noch die Jahrgangsstufe hatten einen Einfluss auf das Verständnis von NOS-Aspekten. Die Prädiktoren erklären 27 % der Gesamtstreuung der Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* zum Zeitpunkt t_3 .

Die Hypothese 4.2.1 wurde bestätigt. Das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten ist gesamthaft relativ stabil geblieben. Dennoch gab es zum Zeitpunkt t_3 einen schwachen Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Schüler*innen der Interventionsgruppe zeigten zu t_3 ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als Schüler*innen der Kontrollgruppe.

Tabelle 56: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3

Variable	<i>B</i>	<i>SE B</i>	β
Konstante	1.53	.90	
Verständnis von NOS-Aspekten t_2	.49***	.06	.48***
Intervention	.25*	.10	.15*
Geschlecht	-.00	.10	-.00
Alter	.04	.07	.05
Niveau	-.22	.12	-.12
Jahrgangsstufe	.01	.10	.01
R^2	.30		
korr. R^2	.28		
$F(df=6; 207)$	14.76***		

Anmerkungen: Codierung Verständnis von NOS-Aspekten 1 (stimmt überhaupt nicht) bis 6 (stimmt völlig); Intervention 1 = Interventionsgruppe; Geschlecht 1 = weiblich; Niveau 1 = Real; Jahrgangsstufe 1 = 7. Klasse, 2 = 8. Klasse und 3 = 9. Klasse; $N = 231$; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; abhängige Variable: Verständnis von NOS-Aspekten t_3

6.1.5 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit

Um die Fragestellungen zu untersuchen, wie stabil sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und die Fehlerlernorientierung über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 zeigen (F5.1) und welche wechselseitigen Wirkungen das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten mit dem Umgang mit Fehlern über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 haben (F5.2), wurde ein teilweise latentes autoregressives Modell gerechnet (Abbildung 25). Als Kontrollvariablen hinzugezogen wurden das *Geschlecht*, das *Alter*, das *Niveau*, die *Schulstufe* und die *Intervention*. Wie im Kapitel 5.3.2 dargestellt, wies das teilweise latente autoregressive Modell die folgenden guten Fit-Werte auf: $\chi^2 = 131.19$, $df = 70$, $p < 0.001$, $\chi^2/df = 1.87$, RMSEA = 0.06, CFI = 0.95 und TLI = 0.90 (Byrne, 2011; Döring & Bortz, 2016; Hu & Bentler, 1998, 1999; Kyriazos, 2018; Schumacker & Lomax, 2016).

Die autoregressiven Pfade zeigten, dass das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 sehr stark vom Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 abhing ($\beta = 0.80$, $p < 0.001$). Auch das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 hing stark von dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 ab ($\beta = 0.68$, $p < 0.001$). Das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 hing darüber hinaus aber nicht vom Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 ab ($\beta = 0.02$, $p = 0.93$). Die statistisch signifikanten und hoch ausgeprägten autoregressiven Effekte zeigten, dass die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich des Verständnisses von NOS-Aspekten zwischen den benachbarten Messzeitpunkten sehr stabil sind. Somit wurde die Hypothese 5.1.1 bestätigt.

Zudem zeigten die autoregressiven Pfade, dass die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 stark von der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 abhing ($\beta = 0.62$, $p < 0.001$). Jedoch hing die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 nicht von der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 ab ($\beta = 0.12$, $p = 0.27$), sondern vom Zeitpunkt t_1 ($\beta = 0.50$, $p < 0.001$). Die Hypothese 5.1.2 wurde teilweise bestätigt. Während sich

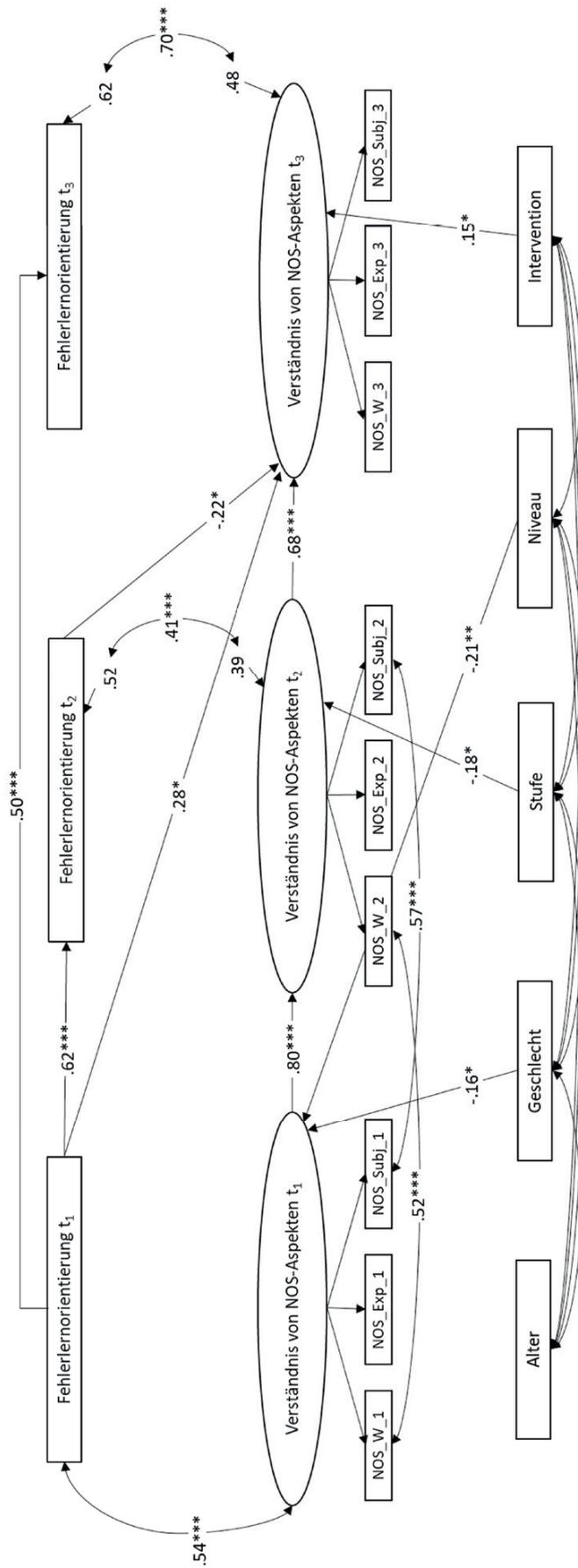


Abbildung 25: Teilweise latentes autoregressives Strukturgleichungs-Modell für Fehlerlernorientierung unter Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; standardisierte Schätzwerte

die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich der Fehlerlernorientierung vom Zeitpunkt t_1 zum Zeitpunkt t_2 stabil zeigten, zeigten sich diese vom Zeitpunkt t_2 zum Zeitpunkt t_3 nicht mehr stabil.

Die Korrelation zwischen der Fehlerlernorientierung und dem Verständnis von NOS-Aspekten zu t_1 zeigte, dass ein starker Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht ($r = 0.54, p < 0.001$). Die Korrelation der Residualvariablen zu t_2 ($r = 0.41, p < 0.001$) und t_3 ($r = 0.70, p < 0.001$) sind hoch und statistisch bedeutsam.

Es konnten keine kreuzverzögerten Effekte zwischen hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. So ging ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 nicht mit einem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 einher ($\beta = 0.14, p = 0.07$), ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 ging jedoch mit keinem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 einher ($\beta = -0.26, p = 0.17$), und auch ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 ging mit keinem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 einher ($\beta = 0.31, p = 0.10$). Somit wurde die Hypothese 5.2.1, dass ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit einem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt einhergeht, widerlegt. Die Kontrollvariablen hatten keinen Effekt auf die Fehlerlernorientierung.

Der insgesamt Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 ist nicht signifikant ($\beta = .003, p = .97$). Der Vergleich von direkten und indirekten Pfaden zeigte, dass sowohl der direkte Pfad als auch der indirekte Pfad nicht signifikant sind. Der direkte Pfad, das heißt der Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 , beträgt $\beta = -.25, p = 0.17$, und der indirekte Effekt beträgt $\beta = .26, p = 0.08$.

Es konnten jedoch kreuzverzögerte Effekte zwischen hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen

Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. Es zeigte sich, dass hohe Werte bei der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 nicht mit hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 einhergehen ($\beta = -0.09$, $p = 0.26$). Jedoch zeigte sich, dass die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 positiv mit dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 zusammenhängt ($\beta = 0.28$, $p = 0.02$). Überraschenderweise stand die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 in negativem Zusammenhang mit dem Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 ($\beta = -0.22$, $p = 0.04$). Somit wurde die Hypothese 5.2.2, dass ein hoher Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt mit einem hohen Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt einhergeht, teilweise bestätigt.

Der insgesamt Effekt der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 war nicht signifikant ($\beta = .09$, $p = .35$). Der Vergleich von direkten und indirekten Pfaden zeigte, dass sowohl der direkte Pfad, das heißt der Effekt der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_1 auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 , signifikant war ($\beta = .28$, $p = 0.02$), als auch der indirekte Effekt ($\beta = -.20$, $p = 0.04$). Somit waren die Effekte des direkten und indirekten Pfades etwa gleich stark, wobei der direkte Pfad tendenziell etwas stärker und der indirekte Effekt negativ ist. Der indirekte Effekt wird größtenteils durch die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 erklärt ($\beta = -.13$, $p = 0.04$). Das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 kann für die Erklärung der Zusammenhänge im Modell vernachlässigt werden ($\beta = -.06$, $p = 0.31$).

Im Gegensatz zur Fehlerlernorientierung konnten Effekte der Kontrollvariablen auf das Verständnis von NOS-Aspekten nachgewiesen werden. Das Geschlecht und das Niveau hatten einen negativen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 . Dies bedeutet, dass Schüler ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten direkt vor dem Workshop hatten als Schülerinnen. Außerdem hatten Schüler*innen aus der Sekundarschule (höheres Niveau) ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 als Schüler*innen aus der Real-

schule (niedrigeres Niveau). Die Schulstufe hatte einen negativen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 . Dies bedeutet, dass Schüler*innen aus niedrigeren Stufen direkt nach dem Workshop ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus höheren Stufen. Zudem hatte die Intervention einen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 . Schüler*innen aus der Interventionsgruppe hatten zwei Monate nach dem Workshop ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

Insgesamt werden 48.2 % der Varianz der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 und 37.9 % der Varianz der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 durch das Modell erklärt. Zudem werden insgesamt 60.6 % der Varianz des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 und 52.0 % der Varianz des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 durch das Modell erklärt.

6.2 Ergebnisse Interviewstudie

Im nachfolgenden Teil werden die Ergebnisse der Interviews anhand der sechs Bereiche des Interviewleitfadens dargestellt. Das Ziel der Interviews war es, eine generelle und möglichst umfassende Einstellung zu Fehlern in der Erkenntnisgewinnung zu erheben. Im ersten Bereich der Interviews wurde auf die (1) Einstellung zu Fehlern beim naturwissenschaftlichen Arbeiten und im Erkenntnisgewinnungsprozess fokussiert. Danach wurden die Schüler*innen gefragt, (2) warum (3) und wo, das heißt, in welchen Momenten des Prozesses Fehler passieren können. Anschließend wurde der Fokus auf die (4) Fehler beim Experimentieren und die (5) Gründe zur Entstehung von Beobachtungsfehlern gelegt. Zum Schluss wurde gefragt, (6) wie die Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern umgehen würden. In der Ausstiegsphase der Interviews wurden die Schüler*innen zudem gefragt, ob die Lehrpersonen nach dem Workshop Fehler im Unterricht thematisiert haben. Alle interviewten Schüler*innen beantworteten diese Frage mit nein.

Nach der deskriptiven Beschreibung der Ergebnisse erfolgt für alle sechs Bereiche die Darstellung der Ergebnisse der Quantifizierung. Wie im Kapitel 5.5.4 beschrieben, wurden in den sechs Bereichen jeweils 0, 1 oder 2 Punkte vergeben. Auch die Kriterien für die Punktevergabe sind in diesem Abschnitt beschrieben. Pro Bereich konnten jeweils maximal 2 Punkte und über alle sechs Bereiche 12 Punkte erreicht werden.²⁰

6.2.1 Ergebnisse zum ersten Bereich *Fehler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess*

Um zu analysieren, ob Fehler für die Schüler*innen zur Erkenntnisgewinnung und zum naturwissenschaftlichen Arbeiten gehören, wurden sie gefragt, wie sie vorgehen würden, um Erkenntnisse zum autonomen Fahren zu gewinnen sowie ein selbstfahrendes Auto zu entwickeln. Diese Aussagen wurden mit einem Fokus auf Fehler analysiert.

Die Schüler*innen beschrieben das Vorgehen, um neue Erkenntnisse im Bereich des autonomen Fahrens zu gewinnen sowie ein selbstfahrendes Auto zu entwickeln, unterschiedlich. Die Prozesse begannen an unterschiedlichen Punkten, beispielsweise bei der Recherche oder beim Austausch mit anderen Wissenschaftler*innen, enthalten unterschiedliche Schritte und wurden unterschiedlich ausführlich beschrieben. Es konnten Aussagen zu den folgenden Bereichen identifiziert werden:

- Recherche
- Planung
- Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftler*innen
- Materialeinkauf

²⁰ Eine Berechnung von Mittelwerten ist in der qualitativen Forschung nicht üblich. Eine mögliche Kritik könnte darauf beruhen, dass die verwendete Skala von 0 bis 2 nicht intervallskaliert ist und daher keine Mittelwerte berechnet werden können. Da jedoch Punkte bereits metrisch sind und so eine Form von Intervallskalierung darstellen, wurden dennoch Mittelwerte sowohl für die einzelnen Interviewbereiche als auch über das gesamte Interview gerechnet. Mit den Mittelwerten konnten Unterschiede zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe in einzelnen Interviewbereichen aufgezeigt werden. Mit anderen Kennwerten wie dem Median wäre das nicht möglich gewesen, denn damit hätten lediglich die Gesamtpunktzahlen verglichen werden können.

- Herstellung eines Prototyps
- Herstellung des autonom fahrenden Autos
- Programmierung
- Experimentieren bzw. Ausprobieren
- Testen und Verbessern
- Vermarktung des Autos

Bei der Recherche sagten die meisten Schüler*innen, dass sie zuerst die Funktionalität eines normalen Autos verstehen müssen, bevor sie mit der Entwicklung des autonom fahrenden Autos beginnen können:

„Ich würde zuerst mal schauen, wie ein normales Auto funktioniert, und analysieren, wie ein Mensch denkt und arbeitet, wenn er fährt. Und dann wie so eine Studie dazu machen, was da passiert“ (I11_MA24, Pos. 20).

Zudem wurden einige allgemeine Aussagen zum Recherchieren gemacht. Je eine Person sagte, dass der Straßenverkehr und Unfälle analysiert werden müssten. Bei der Planung wurden unterschiedliche Aussagen allgemeiner Art gemacht, wie beispielsweise:

„Also zuerst würde ich mal das Konzept planen, also was genau mein Ziel ist. Und wie es da am Schluss aussehen sollte. Und danach würde ich schauen, wie ich das verwirklichen kann. Also zuerst sicher mal ein Modell zeichnen, dann am Computer schauen, was, das man eben, also das, was wir bereits haben, oder etwas neu, also wenn ich etwas Neues entwickeln muss, würde ich danach schauen, wie ich das entwickeln könnte“ (I6_FR16, Pos. 22).

Ein Modell bzw. eine Skizze anzufertigen, wie dies im obigen Beispiel beschrieben wird, wurde nur zweimal genannt. Viele Schüler*innen sagten zudem, dass sie in diesen Prozessen mit anderen Wissenschaftler*innen zusammenarbeiten würden. Die meisten sagten, dass sie sich mit diesen austauschen würden, weniger Schüler*innen erklärten, dass sie bei der Herstellung mit diesen zusammenarbeiten würden, und am wenigsten Schüler*innen sagten, dass sie die Aufgaben aufteilen würden. Eine Minderheit sagte, dass sie Material einkaufen müssten, und ebenfalls wenige sagten, dass sie einen Prototypen herstellen würden. Dabei wurde nicht immer der Begriff Prototyp verwendet, sondern, wie im nachfolgenden Beispiel sichtbar, der Begriff Modell:

„Und zuerst würde ich noch ein kleines Modell bauen, also dass man nicht gleich zuerst so viel Zeug braucht, weil vielleicht geht meine Überlegung gar nicht. Und dann wäre es schade für das viele Material, dass man dann verbrauchen würde. Und wenn ich jetzt mein kleines Modell, wenn das jetzt gut gehen würde, würde ich dieses in Groß bauen“ (I5_SO16, Pos. 20).

Am ausführlichsten wurde der Herstellungsprozess beschrieben. Dabei konnte zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Eine Minderheit der Schüler*innen würde ein normales Auto umbauen und beispielsweise Kameras, automatische Bremsen und/oder Warnzeichen einbauen. Die Mehrheit der Schüler*innen würde ein neues Auto herstellen. Jeweils einzelne Schüler*innen sagten, dass sie dabei Anleitungen im Internet suchen, Schritt für Schritt arbeiten und auf die Nachhaltigkeit achten würden. Etwas mehr Schüler*innen erklärten, dass die Sicherheit sehr wichtig wäre. Für die Herstellung würde jeweils eine Person einen Dynamo oder einen Elektromotor verwenden oder ein Signal einbauen, das das Abbremsen oder Beschleunigen anzeigen würde. Etwas mehr Schüler*innen würden Kameras und/oder Sensoren einbauen. Einige Schüler*innen nannten auch, dass unterschiedliche Funktionen programmiert werden und unterschiedliche Herstellungsschritte ausprobiert werden müssten. Für die Mehrheit der Schüler*innen war der Prozess nach der Herstellung des Autos abgeschlossen. Nur wenige Schüler*innen sagten, dass sie das Auto oder Funktionen davon testen und/oder verbessern würden:

„Und dann würde ich das testen auf einem Testgelände und so. Und sicher mal Hindernisse aufbauen und Personen, die schnell über die Straße gehen, und schauen, ob es diese erkennt oder ob man etwas daran anders machen kann, ob die Sensoren anders platziert werden müssen oder so“ (I15_DA01, Pos. 20).

Nur eine Person sagte etwas zur Vermarktung des Autos:

„Und ja, dann würde ich es versuchen zu bauen und zu verwirklichen und auf den Markt zu bringen“ (I6_FR16, Pos. 22).

Da die Prozesse sehr unterschiedlich beschrieben wurden und nicht alle Schüler*innen genügend ausführlich über die Erkenntnisgewinnung sowie die Entwicklung des selbstfahrenden Autos sprachen, wurde konkret nachgefragt, wie sie neue Erkenntnisse zum autonomen Fahren gewinnen würden und wie sie ein selbstfahrendes Auto entwickeln würden.

Bei der Nachfrage wie sie vorgehen würden, um neue Erkenntnisse zu gewinnen, sagten wenige Schüler*innen, dass sie das nicht wüssten. Einige sagten, dass sie die Funktionalität des Autos verstehen müssten. Etwas mehr Schüler*innen sagten, dass sie recherchieren würden. Am meisten Schüler*innen sagten, dass sie sich mit anderen Wissenschaftler*innen austauschen würden. Einige erklärten, dass sie es einfach ausprobieren würden, und andere sagten, dass sie testen würden. Wiederum andere sagten konkret, dass sie experimentieren würden. Dabei würden aber nur wenige Vermutungen bzw. Hypothesen testen.

Bei der Nachfrage, wie sie konkret ein selbstfahrendes Auto entwickeln würden, sagten wenige Schüler*innen, dass sie das nicht wüssten, gaben aber dennoch eine Antwort. Eine Person sagte, dass sie Ideen sammeln würde, eine andere Person wiederum erklärte, dass sie zuerst verstehen müsste, wie ein normales Auto funktioniert. Zwei Personen sagten zudem, dass man sich über mögliche Unfallszenarien bewusst sein müsste. Etwas mehr Schüler*innen sagten, dass sie einen Prototyp herstellen würden. Einige Schüler:innen würden einen Plan erstellen. Eine Person würde Ziele festlegen, einige würden eine Skizze machen, und eine Person würde Material bereitstellen. Einige Schüler*innen nannten nochmals, dass sie mit anderen Wissenschaftler*innen zusammenarbeiten würden. Wenige sagten, dass sie Bestandteile kaufen würden. Am meisten wurde auch hier wieder Konkretes über die Herstellung erzählt. Viele beschrieben außerdem die Programmierung. Hier wurde nun auch häufig das Testen genannt. Verbesserungen würden nur sehr wenige vornehmen. Eine Person sagte, dass sie das fertige Auto kontrollieren würde, drei Personen nannten die Vermarktung am Ende des Prozesses.

6.2.1.1 Ergebnisse Quantifizierung

Die Beschreibungen des Vorgehens wurden dahingehend analysiert, ob Fehler für die Schüler*innen Bestandteile der Prozesse sind. Die Analysen der Aussagen zum Vorgehen bei der Erkenntnisgewinnung sowie der Aussagen zur Erstellung des selbstfahrenden Autos zeigten, dass bei der Mehrheit der Schüler*innen Fehler zum naturwissenschaftlichen

Arbeiten und zum Erkenntnisgewinnungsprozess gehören (12 Antworten). Dies zeigte sich darin, dass diese Schüler*innen sagten, dass sie etwas falscmachen, verbessern oder dass etwas anders gemacht werden muss. Damit wurde impliziert, dass etwas nicht funktioniert oder nicht funktionieren könnte und somit ein Fehler gemacht oder ein Fehler verbessert wurde. Der Begriff Fehler wurde in den 28 Interviews jedoch nur einmal verwendet:

„Aber (...) einfach so, ja, aber es immer wieder versuchen und neue Versuche machen und dann eben einfach rausgehen und versuchen, dieses Auto zu fahren, und wenn es dann nicht funktioniert, nochmal die Fehler beheben. Und ja, so gut wie möglich dies umsetzen, ja“ (I8_CH06, Pos. 21).

Zu direkten Aussagen wurden folglich Aussagen gezählt, in denen Fehler direkt erwähnt wurden, oder Aussagen, die implizieren, dass etwas nicht funktioniert oder nicht funktionieren könnte. Dazu zählten Aussagen über das Falscmachen, Verbessern oder darüber, dass etwas anders gemacht werden muss. Diese Schüler*innen erhielten 2 Punkte.

Ein weiterer großer Teil machte keine direkten Aussagen zu Fehlern, zum Falscmachen, Verbessern oder Andersmachen, sondern sagten lediglich Aussagen, dass man etwas versucht zu machen, ausprobiert oder experimentiert. Diese Aussagen implizieren das Fehlermachen nur indirekt (10 Antworten). Diese Schüler*innen erhielten 1 Punkt. Ein kleiner Teil von 6 Schüler*innen beschrieb einen Prozess des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der Erkenntnisgewinnung, bei dem alles reibungslos abläuft und demnach interpretiert wurde, dass Fehler nicht zum naturwissenschaftlichen Arbeiten dazugehören. Diese Schüler*innen erhielten 0 Punkte (Tabelle 57).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 1.17$) war insgesamt schwach tiefer als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.25$). Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney- U -Test nicht signifikant: $U = 91.00$, $Z = -.249$, $p = .837$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf keinen Effekt hin ($r = -0.05$). Es gibt demnach zum Zeitpunkt t_4 keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zum Verständnis der Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten und im Erkenntnisgewinnungsprozess. Fehler gehörten für Schüler*innen

der Interventionsgruppe ähnlich zum Erkenntnisgewinnungsprozess dazu wie für Schüler*innen der Kontrollgruppe.

Tabelle 57: Punktevergabe im Bereich (1) *Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten und im Erkenntnisgewinnungsprozess* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	5	4	3
IG	7	6	3
Insgesamt	12	10	6

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.2 Ergebnisse zum zweiten Bereich *Gründe für Fehler (Warum?)*

Im zweiten Bereich wurden die Schüler*innen gefragt, warum in dem Prozess, den sie beschrieben haben, Fehler passieren können. Über die 28 Interviews gesehen wurden von den Schüler*innen Gründe für Fehler im Prozess genannt, die sich zu neun unterschiedlichen Subkategorien zusammenfassen lassen:

- Wissen/Können
- Rechenfehler
- Flüchtigkeitsfehler
- Zusammenarbeit
- Material
- Programmierung
- Herstellung
- Testen
- Sabotage

Begründeten die Schüler*innen das Fehlermachen damit, dass man etwas aus unterschiedlichen Gründen nicht weiß oder nicht kann, wurden diese der Subkategorie Wissen/Können zugeordnet. So zum Beispiel die folgende Aussage:

„Ähm, ja vielleicht auch fehlendes Wissen, das man einfach nicht weiß“ (I14_SE25, Pos. 29).

Alle Fehler, die durch eine falsche Berechnung entstanden, wurden zur Subkategorie Rechenfehler gezählt:

„Oder auch bereits bei der Planung (I: Mhm (bejahend)), wenn man Dinge falsch berechnet“ (I21_DA12, Pos. 32).

Resultieren die Fehler aus der Zusammenarbeit, wurden sie der Subkategorie Zusammenarbeit zugeschrieben:

„Wenn jemand etwas beim Forschen falsch sozusagen herausgefunden hat und dann mir das als Wissenschaftlerin weiterleiten würde, dann hätte ich bereits eine falsche Information zu viel“ (I10_KA07, Pos. 31).

Entstehen Fehler, weil man falsches oder defektes Material verwendet hat oder Material beispielsweise bei der Herstellung kaputtgegangen ist, gehören sie zur Subkategorie Material:

„Pff (atmet laut aus), zum Beispiel ein Fehler, der beim Zusammenbau des Autos passiert ist, zum Beispiel, weiß nicht, da war etwas kaputt oder das funktioniert nicht oder (...) irgendetwas war bereits beschädigt. Und man hat es nicht ausgetauscht oder hat es vergessen oder hat es nicht gesehen“ (I24_CL12, Pos. 36).

Analog dazu wurden Fehler, die dadurch entstehen, dass man etwas falsch programmiert, zur Subkategorie Programmierung, und Fehler im Herstellungsprozess zur Subkategorie Herstellung gezählt:

„Man muss sehr viel programmieren, und alles müsste man, muss man hundertmal überarbeiten und noch mehr, damit dies alles genau so funktioniert“ (I10_KA07, Pos. 27).

„Mmh (fragend), vielleicht auch wenn, ähm, wenn man Teile falsch zusammenbaut und, ähm, das nicht funktioniert, weil es falsch zusammengebaut ist“ (I21_DA12, Pos. 32).

Nannten die Schüler*innen Gründe für Fehler, die daraus resultieren, dass sie zu wenig getestet haben, wurden sie der Subkategorie Testen zugeordnet:

„Und, ähm, testet vielleicht zu wenig. Also, was ich zum Forschen bereits gehört habe, ist ja das Testen ein ziemlich wichtiger Punkt“ (I14_SE25, Pos. 29).

Entstehen Fehler daraus, dass jemand böswillig einen Fehler eingebaut oder begangen hat, gehören sie zur Subkategorie Sabotage:

„Ja vielleicht weil jemand meine Erfindung ‚verpfuschen‘ will oder so (lacht), keine Ahnung (I: Mhm (bejahend))“ (I16_KA11, Pos. 28).

In der Subkategorie Flüchtigkeitsfehler wurden diejenigen Fehler gewertet, die dadurch entstehen, dass etwas falsch notiert oder falsche Suchbegriffe eingegeben wurden, ungenau oder unvorsichtig gearbeitet wurde. So zum Beispiel:

„Oder, dass ich nicht genug genau daran gewesen bin“ (I23_YO54, Pos. 30).

Am häufigsten wurden Fehler genannt, die durch Fehler im Herstellungsprozess entstanden sind (17 Nennungen). Am zweithäufigsten wurde gesagt, dass Fehler entstehen, weil etwas falsch programmiert wurde (15 Nennungen). Am dritthäufigsten wurden Fehler auf unzureichendes Wissen oder Können sowie auf Flüchtigkeitsfehler zurückgeführt (jeweils 11 Nennungen). Fünfmal wurden Gründe auf der Ebene der Materialfehler genannt, dreimal auf der Ebene Testen, zweimal auf der Ebene der Zusammenarbeit und je einmal auf der Ebene Rechenfehler und Sabotage.

6.2.2.1 Ergebnisse Quantifizierung

In den geführten Interviews wurden von einzelnen Schüler*innen maximal vier unterschiedliche Subkategorien genannt. 14 Schüler*innen nannten insgesamt drei oder mehr Subkategorien und erhielten dafür 2 Punkte. Davon nannten vier Schüler*innen drei konkrete Subkategorien und sagten auch, dass Fehler überall passieren könnten. Gründe für Fehler auf zwei Ebenen wurden von acht Schüler*innen genannt. Diese Schüler*innen erhielten 1 Punkt. Sechs Schüler*innen benannten Fehler auf nur einer Subkategorie und erhielten 0 Punkte (Tabelle 58).

Materialfehler wurden explizit nur mit den Schüler*innen aus der Interventionsgruppe thematisiert. Drei der fünf Schüler*innen, welche Materialfehler als Grund nannten, waren aus der Kontrollgruppe.

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 1.33$) war insgesamt schwach höher als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.25$). Der

Unterschied ist nach dem Mann-Whitney-*U*-Test nicht signifikant: $U = 92.00$, $Z = -.202$, $p = .873$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf keinen Effekt hin ($r = -0.04$). Es gab demnach zum Zeitpunkt t_4 auch in Bezug auf die Gründe für Fehler keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tabelle 58: Punktevergabe im Bereich (2) *Gründe für Fehler (Warum?)* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	6	4	2
IG	8	4	4
Insgesamt	14	8	6

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.3 Ergebnisse zum dritten Bereich *Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)*

Neben den Gründen, warum Fehler im Prozess passieren können, sollte im dritten Bereich zudem erfahren werden, in welchen Momenten des Prozesses laut den Schüler*innen Fehler passieren können. Über die 28 Interviews gesehen wurden von den Schüler*innen neun solcher Momente aufgezählt:

- Recherche
- Erkenntnisgewinnung
- Planung
- Materialeinkauf
- Ausprobieren/Experimentieren
- Herstellung
- Programmierung
- Testen
- Endprodukt
- In jedem Moment

Analog zu den Gründen, warum Fehler passieren können, wurden auch bei den Momenten im Prozess, in welchen Fehler passieren können, am häufigsten die Herstellung (19 Nennungen) und am zweithäufigsten die Programmierung (14 Nennungen) genannt. Acht Schüler*innen sagten, dass Fehler überall, also in jedem Moment des Prozesses passieren könnten. Je sechs Schüler*innen sagten, dass Fehler beim Testen oder im Straßenverkehr passieren könnten. Vier Schüler*innen nannten die Planung, je zwei die Recherche, das Experimentieren und den Materialeinkauf und nur eine Person nannte den Moment der Erkenntnisgewinnung. Diese eine Person sagte:

„Weil einerseits Programmierfehler entstehen können, in der Programmierung, aber auch in der Wissensgewinnung, dass man da irgendetwas falsch ausgewertet und dann danach falsch übergibt und dann macht man wie einen Fehler“ (I11_MA24, Pos. 26).

6.2.3.1 Ergebnisse Quantifizierung

Insgesamt neun Schüler*innen konnten drei oder mehr unterschiedliche Momente aufzählen und erhielten 2 Punkte, 16 Schüler*innen konnten einen oder zwei Momente nennen und erhielten dafür 1 Punkt. Lediglich drei Schüler*innen zählten Momente auf, in denen keine Fehler passieren könnten oder wenige Fehler passieren würden und erhielten dafür 0 Punkte (Tabelle 59).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 1.25$) war insgesamt schwach höher als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.19$). Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney- U -Test nicht signifikant: $U = 91.50$, $Z = -.237$, $p = .837$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf keinen Effekt hin ($r = -0.04$). Es gab demnach zum Zeitpunkt t_4 auch in Bezug auf die Momente im Prozess, in welchem Fehler passieren können, keinen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tabelle 59: Punktevergabe im Bereich (3) *Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	4	9	1
IG	5	11	2
Insgesamt	9	16	3

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.4 Ergebnisse zum vierten Bereich *Fehler beim Experimentieren*

Im vierten Bereich wurde der Fokus auf Fehler beim Experimentieren gelegt. Es konnten Fehler identifiziert werden, die bei der Planung, bei der Umsetzung oder bei der Auswertung passieren. Es gab aber auch Schüler*innenaussagen dazu, dass keine Fehler passieren könnten, oder sie nicht wüssten, welche Fehler beim Experimentieren passieren könnten. Daher wurden die folgenden vier Subkategorien gebildet:

- Planungsfehler
- Umsetzungsfehler
- Auswertungsfehler
- Es passieren keine oder wenige Fehler bzw. weiß nicht

27 Schüler*innen nannte dabei Fehler, die bei der Umsetzung passieren:

„Weil ja, wenn man schusselig arbeitet oder so, dann ja“ (I6_FR16, Pos. 36).

Sechs Schüler*innen erwähnten Fehler, die auf eine nicht korrekte Planung zurückzuführen sind:

„Oder man einfach falsch überlegt hat, man in die falsche Richtung geht. Ja“ (I14_SE25, Pos. 35).

Nur eine Person nannte einen Fehler, der bei der Auswertung des Experiments passiert:

„Und wenn man etwas falsch versteht, oder so“ (I18_JE26, Pos. 34).

In der letzten Kategorie (Es passieren keine Fehler oder wenige Fehler bzw. weiß nicht) sagte nur eine Person, dass beim Experimentieren we-

nige Fehler passieren würden, und nur einmal wurde gesagt, dass man nicht wisse, welche Fehler beim Experimentieren passieren könnten.

6.2.4.1 Ergebnisse Quantifizierung

Sechs Schüler*innen konnten Fehler in zwei oder drei Momenten nennen und erhielten dafür 2 Punkte, 20 Schüler*innen nannten Fehler, die sich nur auf einen Moment beziehen und erhielten dafür 1 Punkt und lediglich zwei Schüler*innen gaben entweder an, nicht zu wissen, welche Fehler beim Experimentieren passieren könnten, oder sagten, dass keine oder wenige Fehler passieren würden. Dafür erhielten sie 0 Punkte (Tabelle 60).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 1.08$) war insgesamt schwach tiefer als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.19$). Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney- U -Test nicht signifikant: $U = 85.00$, $Z = -.645$, $p = .631$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf einen schwachen Effekt hin ($r = -0.12$). Es gab zum Zeitpunkt t_4 in Bezug auf die Fehler beim Experimentieren einen schwachen, aber nicht signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tabelle 60: Punktevergabe im Bereich (4) *Fehler beim Experimentieren* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	1	11	0
IG	5	9	2
Insgesamt	6	20	2

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.5 Ergebnisse zum fünften Bereich *Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern*

Im fünften Bereich sollte herausgefunden werden, wie Beobachtungsfehler entstehen können. Die Antworten konnten in eine richtige oder eine falsche Begründung unterteilt werden, wobei bei den richtigen Begründungen zusätzlich in einen rein menschlichen Grund und einen

menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss unterschieden werden konnten. Daher wurden die folgenden drei Subkategorien gebildet:

- Rein menschlicher Grund
- Menschlicher Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss
- Falsche Gründe oder keine Vorstellung

Die Frage, wie Beobachtungsfehler entstehen können, bereitete den Schüler*innen am meisten Mühe. Mehr als ein Drittel (entspricht zehn Nennungen) der interviewten Schüler*innen wusste nicht, wie Beobachtungsfehler entstehen können (sechs Schüler*innen) oder gab eine falsche Begründung an (vier Schüler*innen). Dies zeigte sich beispielsweise in Aussagen wie:

„Wenn man vielleicht etwas nicht aufschreibt oder dokumentiert. (I: Mhm (bejahend)) Und dann kann es halt sein, dass man es falsch berechnet oder auch die falschen Dinge dafür kauft und es dann falsch zusammenbaut“ (I21_DA12, Pos. 36).

Fünf Schüler*innen gaben eine falsche Begründung an, nannten aber noch einen korrekten rein menschlichen oder einen menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss zur Entstehung eines Beobachtungsfehlers.

13 Schüler*innen nannten einen korrekten rein menschlichen oder einen menschlichen Grund mit einem sachlichen/materiellen Einfluss, der zur Entstehung eines Beobachtungsfehlers führen könnte (Tabelle 61):

„Oder man wartet zu wenig lange und dann geht man weg, also aus dem Raum, und dann passiert gerade da etwas oder vielleicht so“ (I7_DA14, Pos. 54).

„Es könnte noch sein, dass es zu schnell passiert und man es dann nicht bemerkt. Also zum Beispiel, dass beim selbstfahrenden Auto kurz für zwei Sekunden eine Kamera ausfällt. Das merkt man jetzt nicht wirklich, außer man hat, außer es ist länger wie nur eineinhalb Sekunden. Merkt man ja nicht wirklich, weil das kommt einfach so (zeigt mit dem Finger) und ist dann wieder weg. Das kann man dann nicht sehen, wenn man es nicht aufzeichnet“ (I13_MI14, Pos. 36).

Insgesamt wurde 19 Mal ein rein menschlicher Grund genannt und 5 Mal ein menschlicher Grund in Kombination mit einem sachlichen/

materiellen Einfluss. Bei den rein menschlichen Gründen wurde am häufigsten genannt, dass man während einer gewissen Zeit nicht mit den Gedanken bei der Beobachtung war (9 Nennungen). 14 Schüler*innen machten banale, aber korrekte Aussagen zur Entstehung eines Beobachtungsfehlers. Davon sagten 6 Schüler*innen, dass etwas nicht gesehen worden sei, 4 sagten, dass falsch beobachtet worden sei, und weitere 4 Schüler*innen sagten, dass ungenau beobachtet worden sei. 2 Schüler*innen begründeten einen Beobachtungsfehler damit, dass zu wenig lang beobachtet wurde. Lediglich eine Person meinte, dass Beobachtungsfehler auch dadurch entstehen könnten, wenn unterschiedliche Betrachter*innen unterschiedliche Beobachtungen machten:

„Wenn beispielsweise zwei Leute das Gleiche anschauen, habe ich das Gefühl, hat der eine einen anderen Eindruck als der andere“ (I1_SI13, Pos. 40).

Von den fünf Nennungen zu einem menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss zur Entstehung eines Beobachtungsfehlers nannten zwei Schüler*innen, dass die Technik auch schneller sein könne, als man beobachten könne. Außerdem wurde je einmal erwähnt, dass man etwas nicht gesehen habe, weil man eine Brille brauche, weil nicht alle Teile sichtbar gewesen seien oder weil äußere Einflüsse, wie zum Beispiel Dunkelheit, die Beobachtung erschwert hätten.

6.2.5.1 Ergebnisse Quantifizierung

Die 13 Schüler*innen, die keine falschen Begründungen gaben und einen richtigen, rein menschlichen Grund und/oder einen richtigen menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss nannten, erhielten 2 Punkte. Die 5 Schüler*innen, die eine falsche Begründung gaben, aber zusätzlich einen richtigen, rein menschlichen Grund oder einen richtigen menschlichen Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss nannten, erhielten 1 Punkt. Die 10 Schüler*innen, die nicht wussten, wie Beobachtungsfehler entstehen können oder eine falsche Begründung gaben, erhielten 0 Punkte (Tabelle 61).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 0.92$) war insgesamt schwach tiefer als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.25$). Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney- U -Test nicht signifikant: $U = 76.50$, $Z = -.982$, $p = .371$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf einen schwachen Effekt hin ($r = -0.19$). Es gibt demnach zum Zeitpunkt t_4 auch bei den Gründen für die Entstehung von Beobachtungsfehlern einen schwachen, aber nicht signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tabelle 61: Punktevergabe im Bereich (5) *Gründe für Entstehung von Beobachtungsfehlern* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	4	3	5
IG	11	2	5
Insgesamt	13	5	10

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.6 Ergebnisse zum sechsten Bereich *Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern*

Im sechsten Bereich sollte abschließend erfahren werden, wie die Schüler*innen mit Fehlern umgehen würden, wenn sie Wissenschaftler*innen wären. Die Aussagen zum Umgang mit Fehlern wurden auf einer kognitiven, affektiv-motivationalen und/oder behavioralen Ebene beschrieben. Es gab auch rein negative Beschreibungen zum Umgang mit Fehlern. Daher wurden die folgenden vier Subkategorien gebildet:

- Kognitiv
- Affektiv-motivational
- Behavioral
- Negativer Umgang

Lediglich eine Person beschrieb einen rein negativen Umgang mit Fehlern, wenn sie ein Wissenschaftler wäre:

„Boah, als Wissenschaftler, also als Wissenschaftler, vielleicht ist es auch ein bisschen verantwortungslos, wenn da jetzt wirklich ein Fehler passieren sollte, dass dann nicht der Hersteller, sondern der Wissenschaftler schuld ist. Weil die das ja auch testen und alles. Ähm, ja, ich denke fast ein bisschen verantwortungslos, weiß nicht, ob man das so ausdrücken kann, aber ich glaube fast ein bisschen verantwortungslos, wenn dann ein Unfall passiert oder sonst was, ja, dann ist man als Wissenschaftler schon nicht gerade so, ähm, auf einem positiven Stand“ (I25_RO17, Pos. 40).

Die anderen 27 Schüler*innen beschrieben einen positiven Umgang mit Fehlern. Dabei wurden auf der affektiv-motivationalen Ebene von 4 Schüler*innen auch negative Gefühle wie Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration oder Verzweiflung genannt. Trotz der anfänglich negativen Gefühle beschrieben sie einen positiven kognitiven und/oder behavioralen Umgang. Nachfolgend ein Beispiel:

„Oder wenn es andere Fehler sind, dann denke ich, wäre ich irgendwann mal schnell erschöpft und würde nicht mehr so mögen. Aber ich kann ja dann nicht einfach aufgeben. Das heißt, ich muss weiterversuchen und weiterversuchen und halt versuchen, diese Fehler zu korrigieren, zu verbessern“ (I14_SE25, Pos. 39).

Insgesamt machten 27 Schüler*innen Aussagen auf der behavioralen, 13 auf der kognitiven und 4 auf der affektiv-motivationalen Ebene. Von den 27 Aussagen auf der behavioralen Ebene wurde das Verbessern von Fehlern mit 18 Nennungen am häufigsten erwähnt. Weitere 11 Schüler*innen sagten, dass sie nach einem Fehler weiter ausprobieren würden, 7 würden darauf achten, dass sie die Fehler ein nächstes Mal verhindern würden, 5 würden die Fehler analysieren und weitere 5 Schüler*innen würden neu beginnen. 3 Schüler*innen würden die Fehler mit anderen Wissenschaftler*innen besprechen und 2 würden nach dem Fehler weiterarbeiten. Eine Person würde die Fehler notieren, eine Person würde neue Berechnungen machen und eine andere Person würde sich finanzielle Unterstützung holen, um den Fehler zu verbessern. Von den 13 Schüler*innen, die Aussagen auf der kognitiven Ebene machten, sagten 7, dass sie aus den Fehlern lernen würden, 2 erklärten, dass sie das Ganze nochmals durchdenken müssten, und 2 weitere gaben an, dass sie nicht aufgeben würden. Eine Person sagte, dass man sich bewusst sein müsse,

dass es Fehler geben könne. Eine weitere Person sagte, dass Fehlermachen menschlich sei, und noch eine weitere Person erklärte, dass Fehler mit schlimmen Folgen unbedingt verhindert werden müssten. Auf der affektiv-motivationalen Ebene wurden, wie oben dargestellt, auch negative Gefühle wie Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration oder Verzweiflung genannt. Doch trotz der negativen Gefühle wurde anschließend ein positiver kognitiver und/oder behavioraler Umgang beschrieben. Neben diesen negativen Emotionen sagte eine Person, dass sie trotz des Fehlers motiviert bleiben würde:

„Motiviert bleiben und sagen: Doch, es muss so nochmals klappen. Ich will das ja auch erreichen, dass das von alleine fahren kann. Ich will das und zwingen mich auch selbst etwas dazu, dass ich das machen will“ (I10_KA07, Pos. 37).

Eine Person sagte zudem, dass sie eher gelassen mit Fehlern umgehen würde:

„Aber man sollte damit wahrscheinlich eher gelassen umgehen, weil die Fehler kann man natürlich beheben“ (I28_NE02, Pos. 38).

Die Schüler*innenantworten lassen erkennen, dass der Umgang mit Fehlern auf der affektiv-motivationalen Ebene niemals einzeln beschrieben wurde, der Umgang auf kognitiver oder behavioraler Ebene jedoch schon. So sind Aussagen zum Umgang mit Fehlern auf der affektiv-motivationalen Ebene immer mit dem kognitiven und/oder behavioralen Umgang mit Fehlern verknüpft.

6.2.6.1 Ergebnisse Quantifizierung

Schüler*innen, die einen positiven Umgang mit Fehlern auf zwei oder drei Ebenen beschrieben, erhielten 2 Punkte. Schüler*innen, die einen positiven Umgang mit Fehlern auf einer der drei Ebenen beschrieben, erhielten 1 Punkt. Jene Person, die einen rein negativen Umgang mit Fehlern beschrieb, erhielt 0 Punkte (Tabelle 62).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe ($M = 1.50$) war insgesamt schwach tiefer als derjenige der Interventionsgruppe ($M = 1.63$). Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney- U -Test nicht signifikant: $U = 89.00$, $Z = -.380$, $p = .767$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf

keinen Effekt hin ($r = -0.07$). Es gab demnach zum Zeitpunkt t_4 beim Umgang mit Fehlern keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tabelle 62: Punktevergabe im Bereich (6) *Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern* nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
KG	7	3	1
IG	10	6	0
Insgesamt	17	9	1

Anmerkungen: IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe; insgesamt 28 Interviews, davon 12 aus der KG und 16 aus der IG

6.2.7 Zusammenfassung: Ergebnisse generelle Einstellung zu Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess

Nimmt man zur Einschätzung der Schüler*innen in Bezug auf ihre Einstellung zum Umgang mit Fehlern beim naturwissenschaftlichen Arbeiten die oben genannten sechs Bereiche zusammen, kann festgestellt werden, dass die 28 interviewten Schüler*innen im Durchschnitt 7.5 von 12 möglichen Punkten erreicht haben. Die Schüler*innen der Interventionsgruppe erreichten dabei im Durchschnitt einen etwas höheren Wert von 7.75 als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe mit einem durchschnittlichen Wert von 7.2. Der Unterschied ist nach dem Mann-Whitney-U-Test nicht signifikant: $U = 88.00$, $Z = -.376$, $p = .732$. Die Effektstärke wies nach Cohen (1992) auf keinen Effekt hin ($r = -0.07$). Es gab demnach zum Zeitpunkt t_4 keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe. Somit wurde die Hypothese 6.2.1 widerlegt.

Zusammenfassend ergab die Studie in den sechs Bereichen die folgenden Ergebnisse (Tabelle 63): (1) Für einen großen Teil der Schüler*innen gehörten Fehler zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und zur Erkenntnisgewinnung dazu ($M = 1.21$). Dabei wurden Fehler aber nur selten konkret erwähnt. Vielmehr wurden Aussagen zum Falschmachen,

Verbessern oder Andersmachen oder indirekte Aussagen dazu, dass man etwas versucht zu machen oder ausprobiert/experimentiert, getätigt. Nur für eine Minderheit schienen Fehler eher nicht zum Prozess zu gehören. (2) Die Schüler*innen konnten auch unterschiedliche Gründe für Fehler nennen ($M = 1.29$) und (3) unterschiedliche Momente im Prozess des naturwissenschaftlichen Arbeitens aufzählen, in denen Fehler passieren können ($M = 1.21$). Dabei wurden in beiden Fällen am häufigsten die Herstellung und die Programmierung als Gründe sowie als Momente genannt, in denen Fehler passieren können. Überraschenderweise wurden Fehler beim Testen selten als Grund oder als Moment genannt, in dem Fehler passieren können. (4) Die Schüler*innen konnten Fehler beim Experimentieren beschreiben, welche größtenteils aus einer falschen Umsetzung resultieren ($M = 1.14$). Fehler bei der Planung wurden eher weniger oft genannt und Fehler bei der Auswertung nur selten. (5) Die Erklärung, warum Beobachtungsfehler entstehen können, bereitete den Schüler*innen die größten Schwierigkeiten ($M = 1.11$). Dennoch konnten viele Schüler*innen eine korrekte Erklärung finden, welche aber oft sehr banal war (wie „falsch beobachtet“ oder „ungenau beobachtet“). Dabei wurden die Fehler mehrheitlich auf einen rein menschlichen Grund als auf einen menschlichen Grund mit sachlichem/materiellem Einfluss zurückgeführt. Es gab auch einige Schüler*innen, die keine Antwort geben konnten. (6) Den höchsten Mittelwert erzielten die Schüler*innen bei der Beschreibung, wie sie als Wissenschaftler*innen mit Fehlern umgehen würden ($M = 1.57$). Dabei beschrieb lediglich eine Person einen rein negativen Umgang. Alle anderen Schüler*innen beschrieben einen insgesamt positiven Umgang mit Fehlern auf kognitiver, affektiver und/oder behavioraler Ebenen. Auch wenn negative Gefühle wie Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration oder Verzweiflung auf der affektiven Ebene genannt wurden, wurde der nachfolgende kognitive oder behaviorale Umgang mit Fehlern positiv beschrieben.

Tabelle 63: Mittelwerte der sechs Bereiche des generellen Umgangs mit Fehlern nach Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppe	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
KG	1.17 (0.83)	1.33 (0.78)	1.25 (0.62)	1.08 (0.29)	0.92 (0.90)	1.50 (0.67)
IG	1.25 (0.77)	1.25 (0.86)	1.19 (0.66)	1.19 (0.66)	1.25 (0.93)	1.62 (0.50)
Insgesamt	1.21 (0.79)	1.29 (0.81)	1.21 (0.63)	1.14 (0.52)	1.11 (0.92)	1.57 (0.57)

Anmerkungen: KG = Kontrollgruppe, IG = Interventionsgruppe; (1) Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten, (2) Gründe für Fehler (Warum?), Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können (Wo?), (3) Fehler beim Experimentieren, (4) Beobachtungsfehler, (5) Entstehung Beobachtungsfehler, (6) Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern

7 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, erste empirische Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses und dem Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I zu liefern. In diesem Kontext wurde der Frage nachgegangen, inwiefern das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten den Umgang mit Fehlern beeinflusst (F2). Da digital-basierte Lernumgebungen geeignete Rahmenbedingungen bieten, um einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern, stellte sich die Frage, inwiefern sich der Umgang der Schüler*innen der Sekundarstufe I mit Fehlern (F3.1) sowie das Verständnis von NOS-Aspekten (F4.1) durch eine gezielte Förderung des Umgangs mit Fehlern positiv beeinflussen lässt. Zumal im schulischen Kontext nicht nur direkte Wirkungen, sondern auch längerfristige bzw. nachhaltige Wirkungen von Interesse sind, wurde untersucht, inwiefern die Wirkung auf den Umgang mit Fehlern (F3.2) sowie auf das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten (F4.2) noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist. Im Rahmen der längsschnittlichen Untersuchung wurde zudem den Fragen nachgegangen, wie stabil sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und die Fehlerlernorientierung über die Zeitpunkte t_1 (direkt vor der Intervention), t_2 (direkt nach der Intervention) und t_3 (zwei Monate nach der Intervention) zeigen (F5.1) und welche wechselseitigen Wirkungen das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten mit der Fehlerlernorientierung diese drei Zeitpunkte haben (F5.2). In einem zusätzlich zur Dissertation verfassten Artikel wurde von Schmid et al. (2022) im Rahmen der Studie untersucht, inwiefern sich die Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation auswirkt (F1).

Anhand von Kurzinterviews wurden genauere Informationen zum Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess erhoben (F6.1). Zudem wurden erneut Unterschiede zwischen Schüler*innen, welche einen konstruktiven Umgang mit Fehlern im Workshop erlebten, und Schüler*innen, welche den regulären Workshop besuchten, untersucht (F6.2).

Im Nachfolgenden werden die Hypothesen der quantitativen Fragestellungen (F2, F3.1, F3.2, F4.1, F4.2 und F5) und die Ergebnisse der qualitativen Fragestellungen (F6.1 und F6.2) zunächst einzeln diskutiert. Die Ergebnisse der ersten Fragestellung werden, wie in Kapitel 3.1 geschrieben, nicht nochmals diskutiert. Im nachfolgenden Kapitel 8 werden die Ergebnisse der qualitativen Studie den Ergebnissen aus der quantitativen Studie beigezogen, um Fehler im Erkenntnisgewinnungsprozess besser zu kontextualisieren. Aus der Verknüpfung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse werden Schlussfolgerungen und Metainferenzen gezogen (Hagenauer & Gläser-Zikuda, 2018; Tashakkori & Teddlie, 2008).

7.1 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern

Da noch keine empirischen Ergebnisse zu Fehlern als NOS-Aspekte vorliegen, wurde zuerst der Frage nachgegangen, inwiefern das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten den Umgang mit Fehlern beeinflusst. Der Umgang mit Fehlern wurde mit den Skalen *Fehlerlernorientierung*, *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* sowie *Fehlerangst* gemessen. Aufgrund der Verortung der Untersuchungsvariablen im Modell der CVTAE von Pekrun (2006) wurden unterschiedliche Hypothesen aufgestellt. In Bezug auf die Fehlerlernorientierung wurde die Hypothese aufgestellt, dass das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten einen Effekt auf deren Fehlerlernorientierung hat. Diese Hypothese konnte bestätigt werden (Hypothese 2.1). Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die bei den gewählten NOS-Aspekten ein adäquates Verständnis besitzen, eine positive Fehlerlernorientierung haben, so dass sie Fehler eher als Lerngelegenheit wahrnehmen als Schüler*innen, die bei den gewählten NOS-Aspekten ein weniger adäquates Verständnis haben. In Bezug auf dieses Ergebnis gilt es zu beachten, dass im Rahmen dieser Studie das Verständnis von NOS-Aspekten mit Items zu den Aspekten *Wissen ist vorläufig, aber beständig*, *Fehlermachen beim Experimentieren* und

Kreativität als subjektives Element erhoben wurde. Die Items zum Aspekt *Wissen ist vorläufig, aber beständig* implizieren Fehler, während die Items zum Aspekt *Fehlermachen beim Experimentieren* Fehler explizit thematisieren. Dies könnte einen Einfluss darauf gehabt haben, dass ein Effekt vom Verständnis der gewählten NOS-Aspekte auf die Fehlerlernorientierung nachgewiesen werden konnte. Jedoch ist aus dem Theorieteil abzuleiten, dass Fehler integrale Bestandteile von NOS sind. Daher wird angenommen, dass sich auch mit anderen NOS-Aspekten ein Effekt auf die Fehlerlernorientierung nachweisen lassen würde.

Durch das Strukturgleichungsmodells der unabhängigen Variable *Verständnis von NOS-Aspekten* auf die abhängige Variable *Fehlerlernorientierung* unter Berücksichtigung des Alters und des Geschlechts konnten 40.9 % der Varianz der Fehlerlernorientierung erklärt werden. Die verbliebene Varianz der Fehlerlernorientierung könnte dadurch erklärt werden, dass die Fehlerlernorientierung neben dem Verständnis von NOS-Aspekten von anderen Faktoren beeinflusst wird (Geiser, 2010). Aufgrund des Modells der CVTAE von Pekrun (2006) kann angenommen werden, dass unterrichtliche Faktoren wie die kognitive Qualität und Aufgabenanforderungen, aber auch die Wertinduktion, die Förderung der Autonomie, die Zielstrukturen und Erwartungen sowie die Rückmeldungen und Konsequenzen in Bezug auf die Leistungen einen Einfluss auf die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen haben können. Empirische Studien identifizierten Peer-Beziehungen (Kreutzmann, 2017; Zander, Kreutzmann & Wolter, 2014) sowie die Selbstwirksamkeitserwartung (S. A. Arndt, 2020; Kreutzmann, 2017; Zander et al., 2014) als Prädiktoren der Fehlerlernorientierung. Aufgrund der im Modell der CVTAE dargestellten Wechselfeile kann auch nach der CVTAE von Pekrun (2006) die Selbstwirksamkeitserwartung als Prädiktor der Fehlerlernorientierung gesehen werden. Aufgrund dieser Rückkopplungsprozesse, die durch die Wechselfeile im Modell dargestellt werden, könnten neben der Selbstwirksamkeitserwartung sowohl die Emotionen als auch die kognitiven Fähigkeiten, die Lernmotivation, die Lernstrategien, die Selbstregulierung beim Lernen, die Leistung, die Intelligenz, die Kompetenzen und die Lernmotivation einen Einfluss auf

die Fehlerlernorientierung haben. Dies würde jedoch eine empirische Überprüfung erfordern.

Aufgrund der Verortung der Untersuchungsvariablen im Modell der CVTAE von Pekrun (2006) wurde zudem erwartet, dass das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten einen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler hat. Auch diese Hypothese konnte bestätigt werden (Hypothese 2.2). Das bedeutet, dass Schüler*innen mit einem adäquaten Verständnis der gewählten NOS-Aspekte auch von positiven affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler berichten. Dieses Ergebnis muss jedoch unter der Betrachtung der Hypothese 2.4 analysiert werden. Mit der Hypothese 2.4 wurde unter Berücksichtigung der drei Untersuchungsvariablen *Verständnis von NOS-Aspekten*, *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* im Rahmen der CVTAE von Pekrun (2006) postuliert, dass der Effekt des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler über die Fehlerlernorientierung vermittelt wird. Auch diese Hypothese konnte bestätigt werden. Das heißt, der Effekt des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wird über die Fehlerlernorientierung vermittelt (mediert). Dies bedeutet, dass Schüler*innen mit einem adäquaten Verständnis von NOS-Aspekten Fehler als Lerngelegenheit sehen und folglich positive Emotionen nach einem Fehler empfinden. Betrachtet man unter Hinzuziehung des Mediators *Fehlerlernorientierung* den Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler, so stellt man fest, dass der Effekt nun nicht mehr nachzuweisen war. Das Strukturgleichungsmodell unter Einbezug beider abhängigen Variablen zeigte, dass die Beziehung zwischen den beiden Variablen *Verständnis von NOS-Aspekten* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* komplexer ist. In diesem Fall ist es so, dass die unabhängige Variable (*Verständnis von NOS-Aspekten*) zuerst auf eine dritte Variable (*Fehlerlernorientierung*) Einfluss nimmt, welche wiederum Einfluss auf die abhängige Variable (*affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler*) nimmt. Somit handelt es sich hier um eine Mediation, wobei die *Fehlerlernorien-*

tierung der Mediator ist. Im Fall der Mediation ist es immer so, dass die einfache Beziehung zwischen den Variablen zuerst signifikant ist; wenn aber der Mediator aufgenommen wurde, diese Beziehung nicht mehr oder gemindert signifikant ist. Hierbei spricht man von vollständiger Mediation. Dieser zuerst signifikante Effekt wird über den Mediator *Fehlerlernorientierung* umgeleitet, und die signifikante Beziehung zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler verschwindet (Baron & Kenny, 1986).

Das Strukturgleichungsmodell, unter Einbezug des Mediators *Fehlerlernorientierung*, erklärt in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler mehr Varianz als im Modell mit der einfachen Beziehung. Dies ist eine weitere Bestätigung, dass bei der Betrachtung des Effekts des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler die Fehlerlernorientierung als Mediator berücksichtigt werden sollte.

In Anlehnung an das Modell der CVTAE von Pekrun (2006) sollte man annehmen, dass die Mediationsanalyse noch deutlich komplexer sein könnte, da nach der CVTAE beispielsweise auch die Selbstwirksamkeitserwartung oder andere Kontroll- bzw. Wertaspekte als Mediatoren wirken können. Dies lässt sich auch für die verbleibende Varianz annehmen (Geiser, 2010).

Da das Geschlecht, das Alter, das Niveau und die Schulstufe einen Einfluss auf den Umgang mit Fehlern haben können, wurden diese als Kontrollvariablen hinzugezogen. Die Ergebnisse zeigten, dass das Geschlecht einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung und einen negativen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler hatte. Dies bedeutet, dass Schülerinnen direkt vor der Intervention eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als Schüler hatten, aber Schüler positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler hatten als Schülerinnen. Somit sahen Schülerinnen Fehler etwas mehr als Lerngelegenheit als Schüler. Schüler beschrieben jedoch leicht positivere Emotionen beim Machen eines Fehlers als Schülerinnen.

Das Ergebnis, dass Schülerinnen eine höhere Fehlerlernorientierung haben als Schüler, deckt sich mit den Erkenntnissen von S. A. Arndt

(2020). Auch das Ergebnis, dass Schüler positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler haben als Schülerinnen deckt sich mit den Erkenntnissen von Dresel et al. (2013).

Das Alter hatte einen schwach positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung. Dies bedeutet, dass ältere Schüler*innen eine schwach positivere Fehlerlernorientierung als jüngere Schüler*innen hatten. Somit sehen ältere Schüler*innen in dieser Studie Fehler etwas häufiger als Lerngelegenheiten an als jüngere Schüler*innen. Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit den Untersuchungen von Wang et al. (2019), welche keinen Zusammenhang zwischen Fehlerlernorientierung und Alter feststellten. Es wäre wünschenswert, dass ältere Schüler*innen eine höhere Fehlerlernorientierung haben als jüngere. Denn das Ziel ist, dass die Schüler*innen im Verlauf der Schulzeit zu autonomeren Lernenden werden.²¹

7.2 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern

7.2.1 Diskussion zur direkten Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern

Der Umgang mit Fehlern ist entscheidend dafür, ob ein Fehler lernhinderlich ist oder ob er einen Lernprozess in Gang setzt (Kreutzmann et al., 2014). Daher ist es sinnvoll, einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern (z. B. Spychiger et al., 2006). Wie im Kapitel 2.7.2 aufgezeigt, bieten digital-basierte Lernprozesse geeignete Rahmenbedingungen, eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. In diesem Zusammenhang wurde der Frage nachgegangen, inwiefern sich der Umgang der Schüler*innen der

²¹ Die Hypothesen 2.3, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Einfluss auf die Fehlerangst hat, und die Hypothese 2.5, dass der Effekt zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und der Fehlerangst über die Fehlerlernorientierung vermittelt wird, konnten nicht beantwortet werden, da die Fehlerangst, wie im Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

Sekundarstufe I mit Fehlern in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen lässt. Dazu wurde eine Interventionsstudie im *Smartfeld*-Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt. Bei der Kontrollgruppe wurde der reguläre Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* durchgeführt. Bei der Interventionsgruppe wurde der Fokus auf den Umgang mit Fehlern unter Berücksichtigung von Aspekten über Erkenntnisgewinnungsprozesse gelegt. Konkret wurden bei der Interventionsgruppe die drei Fehlertypen *Materialfehler*, *Beobachtungsfehler* und *Programmierfehler* betrachtet und anschließend viermal über den Tag verteilt eine von Oser et al. (1999) adaptierte und erweiterte 4-Schritte-Methode angewendet. Die Schüler*innen mussten erstens die Fehler finden, zweitens die Fehler analysieren, um sie zu verstehen, drittens Fehler von Wissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern betrachten und viertens Fehler verbessern.

Es wurde angenommen, dass die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe unmittelbar nach der Intervention eine höhere Fehlerlernorientierung (Hypothese 3.1.1) sowie positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler haben (Hypothese 3.2.1) als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.²² Sowohl die Hypothese 3.1.1 als auch die Hypothese 3.1.2 wurden widerlegt. Unmittelbar nach der Intervention hatten die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe keine höhere Fehlerlernorientierung und keine positiveren affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die einen geleiteten Umgang mit Fehlern im Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Texti-*

²² Die Hypothesen 3.1.3, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe direkt nach der Intervention weniger Angst vor Fehlern haben als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, und die Hypothese 3.2.3, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe auch zwei Monate nach der Intervention weniger Angst vor Fehlern haben als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, konnten nicht beantwortet werden, da die Fehlerangst, wie im Kapitel 5.3.1 dargestellt, aufgrund des zu tiefen Cronbachs Alpha-Wertes und der nicht normalverteilten Daten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurde.

lien erlebten, Fehler unmittelbar nach dem Workshop nicht als bessere Lerngelegenheit wahrnehmen sowie keine positiveren Emotionen nach einem Fehler empfinden als Schüler*innen, die diesen Umgang nicht erlebten. Diese Ergebnisse können analog zu den Ergebnissen von Oser und Spychiger (2005) betrachtet werden. Oser und Spychiger (2005) konnten nach den Interventionen zum Umgang mit Fehlern in der Schule keine Veränderungen in Bezug auf Aspekte des Schüler*innenfragebogens zum Umgang mit Fehlern in der Schule (*S-UFS*) feststellen. Da Items aus den Bereichen (5) *Gute Strategien und Intensität der Auseinandersetzung mit Fehlern* und (7) *Bedeutsamkeitseinschätzung und Fehlerbereitschaft* später zur Erstellung der Skala *Fehlerlernorientierung* im Fragebogen *SchüFekU* gewählt wurden, können diese Bereiche mit der Fehlerlernorientierung verglichen werden. Items aus dem Bereich (6) *(keine) negative(n) Emotionen bei der Auseinandersetzung mit Fehlern* wurden zur Erstellung der Skala *Fehlerangst* hinzugezogen (Spychiger et al., 2006). Mit den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler wurde nicht die Fehlerangst erhoben, sondern die „Aufrechterhaltung von Lernfreude und Lernmotivation sowie die Regulation negativer Emotionen und damit verbundener motivationsrelevanter Kognitionen (z. B. aufgabenirrelevante Gedanken, Selbstzweifel)“ (Dresel et al., 2013, S. 256). Dennoch kann angenommen werden, dass, wenn sich die Werte der Fehlerangst nicht ändern, sich auch die Werte der affektiv-motivationalen Reaktionen nicht signifikant verändern.

Die Ergebnisse decken sich auch teilweise mit den Ergebnissen von Rach et al. (2013). Auch sie konnten mit ihrer Interventionsstudie keine Effekte auf die Fehlerlernorientierung feststellen. Jedoch konnten sie signifikante Effekte auf die Fehlerangst nachweisen.

Es könnte unterschiedliche Gründe geben, warum die Intervention der vorliegenden Studie keine Wirkung auf die Fehlerlernorientierung sowie die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler zeigte. Ein Grund könnte sein, dass die Intervention zu kurz war, um die als stabil angenommene Fehlerlernorientierung sowie die stabilen affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler zu verändern. Die Intervention hätte vor und/oder nach dem

Workshop verlängert werden können, damit sich die Schüler*innen über einen längeren Zeitraum vertieft mit Fehlern hätten beschäftigen können. Dazu hätten die Lehrpersonen weitergebildet werden müssen, damit sie die Vor- und/oder Nachbereitung im Unterricht adäquat hätten anpassen können. Zudem hätte der Inhalt zumindest im Fach Medien & Informatik vorgegeben werden müssen. Dies hätte für die Lehrpersonen einerseits einen Mehraufwand bedeutet. Andererseits wäre dies nicht für alle Lehrpersonen mit der Jahresplanung vereinbar gewesen, da einige den Workshop als Einstieg in den Bereich Programmieren mit einer visuellen Programmiersprache und andere als Abschluss dieses Bereichs besuchten. Als Folge wurde angenommen, dass dadurch die Stichprobe zusätzlich geschmälert worden wäre. Daher wurde darauf verzichtet, die Intervention vor und/oder nach dem Workshop zu verlängern.

Ein weiterer Grund könnte sein, dass die Intervention nicht passend war, um eine Veränderung in Bezug auf die Fehlerlernorientierung sowie die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zu erzielen. In der Interventionsgruppe wurden, wie bereits erwähnt, Materialfehler, Beobachtungsfehler und Programmierfehler als Fehlertypen vorgestellt und anschließend wurde viermal über den Tag eine von Oser et al. (1999) adaptierte und erweiterte 4-Schritte-Methode angewendet. Da lediglich theoretische Beiträge gefunden wurden, welche die 3-Schritte-Methode von Oser et al. (1999) zitierten und die aus den Schritten *Fehler finden*, *Fehler analysieren* und *Fehler verbessern* bestehen (z. B. Hascher & Hagenauer, 2010; Prediger & Wittmann, 2009), kann kein Vergleich mit empirischen Studien vorgenommen werden. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und des Wissens zur Vermittlung von NOS könnte angenommen werden, dass die explizite Thematisierung der Fehler durch die 4-Schritte-Methode nicht ausgereichte, da eine Diskussion und Reflexion der Schlussfolgerungen fehlte. Daher könnte angenommen werden, dass die Thematisierung der Fehler, die in diesem Fall auf einer Metaebene stattfand, nicht auf die Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* übertragen werden konnte.

Als ein weiterer Grund könnten die eher positiven Werte der Fehlerlernorientierung ($M = 4.3$) und der affektiv-motivationalen Reaktionen

auf Fehler ($M = 3.9$) bereits vor der Intervention gesehen werden. Eventuell hätten Veränderungen festgestellt werden können, wenn die Schüler*innen Fehler vor der Intervention eher nicht als Lerngelegenheit angesehen und eher von negativen Emotionen in Bezug auf Fehler berichtet hätten.

Nach Bortz und Döring (2006) muss jedoch beachtet werden, dass es bei Interventionen keine „Nil-Effekte“, Effekte die gleich 0 sind, geben kann. Eine Intervention hat immer einen Effekt, sei er noch so gering. Dies ist einerseits festzustellen, wenn man die Mittelwerte der Skalen *Fehlerlernorientierung* sowie *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 vergleicht. Die Mittelwerte haben sich leicht bzw. minimal verändert. Diese Veränderung bzw. dieser Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant und daher vernachlässigbar klein. Andererseits kann in Anbetracht der drei Interventionsstudien, die im Kapitel 3.3 beschrieben wurden, angenommen werden, dass die Intervention zum Umgang mit Fehlern eine Veränderung in einem anderen Aspekt des Umgangs mit Fehlern hervorrief, welcher aber nicht erhoben wurde.

Da im schulischen Kontext nicht nur direkte Wirkungen, sondern auch längerfristige bzw. nachhaltige Wirkungen von Interesse sind, wurde darüber hinaus untersucht, inwiefern die Wirkung auf den Umgang mit Fehlern noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist.

7.2.2 Diskussion zur nachhaltigen Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern

Da direkte Wirkungen aufgrund der Intervention in Bezug auf die Fehlerlernorientierung und die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler erwartet wurden, wurde auch erwartet, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe noch zwei Monate nach der Intervention eine höhere Fehlerlernorientierung (Hypothese 3.2.1) sowie positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler haben (Hypothese 3.2.2) als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Jedoch wurde auch die Hypothese 3.2.1 widerlegt. Zwei Monate nach der Intervention hatten

die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe keine höhere Fehlerlernorientierung als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis ist nicht verwunderlich, wenn man die Ergebnisse direkt nach der Intervention bedenkt, wo ebenfalls kein Unterschied in Bezug auf die Fehlerlernorientierung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe festgestellt wurde.

Jedoch hatten Schüler*innen aus der Sekundarschule (höheres Niveau) eine leicht höhere Fehlerlernorientierung als Schüler*innen der Realschule (niedrigeres Niveau). Dieses Ergebnis muss genauer betrachtet werden. Mit Blick auf die Mittelwerte ist festzustellen, dass die Schüler*innen der Sekundarschule eine höhere Fehlerlernorientierung hatten, weil der Mittelwert bei den Schüler*innen der Realschule zwei Monate nach der Intervention gesunken ist. Es stellt sich nun die Frage, warum der Mittelwert bei den Schüler*innen der Realschule zwei Monate nach der Intervention gesunken ist. Die Gründe, warum Schüler*innen Fehler nicht als Lerngelegenheit ansehen können, sind sehr vielfältig und können stärker selbst- oder fremdverursacht sein. Es wäre möglich, dass die Realschüler*innen in diesen zwei Monaten nach der Intervention Fehler gemacht haben, die sie nicht als Lerngelegenheit nutzen konnten. Nur wenn Fehler kognitiv verarbeitet werden, kann aus ihnen gelernt werden (Reusser, 1999). Wenn die bearbeitete Thematik schlicht zu schwer war, könnte dies ein Grund dafür sein, weshalb Schüler*innen nicht aus ihren Fehlern lernen können.

Wie im Kapitel 2.6.2 aufgezeigt, beeinflusst nicht nur der Umgang mit Fehlern durch die Schüler*innen selbst, sondern auch der Umgang der Lehrpersonen die Fehlerkultur im Unterricht. Agieren die Lehrpersonen während der zwei Monate nach der Intervention weniger fehlerfreundlich bzw. geben die Normen nicht transparent bekannt, kann dies dazu beitragen, dass die Schüler*innen nicht aus Fehlern lernen können (Spychiger et al., 2006). Auch wenn kein Lernsetting geschaffen wurde, in welchem dem Verbessern von Fehlern Zeit eingeräumt wurde, wird das Lernen aus Fehlern erschwert oder verhindert. Neben möglichen negativen Einflüssen, welche auf die Lehrpersonen zurückzuführen sind, wären auch negative Einflüsse durch

die Mitschüler*innen denkbar, so zum Beispiel, wenn Mitschüler*innen negativ auf Fehler reagieren (Hascher & Hagenauer, 2010; Spychiger et al., 2006).

Dieser Unterschied zwischen der Sekundar- und Realstufe könnte aber auch daraus resultieren, dass Lehrpersonen in der Sekundarstufe den Umgang mit Fehlern nach dem Workshop weiter thematisiert haben. Diese mögliche Beeinflussung durch die Lehrpersonen konnte nicht kontrolliert werden und wurde auch nicht erfasst. Jedoch könnte es sich in diesem Fall auch um einen Zufallseffekt handeln.

Im Gegensatz zur Hypothese 3.2.1 wurde die Hypothese 3.2.2, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe zwei Monate nach der Intervention positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler haben als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, bestätigt. Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die während des Workshops *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* einen geleiteten Umgang mit Fehlern erlebten, zwei Monate danach positivere Emotionen nach einem Fehler empfanden als Schüler*innen, die diesen Umgang nicht erlebten. Jedoch muss dieses Ergebnis in unter Bezug der Mittelwerte betrachtet werden. Vergleicht man die Mittelwerte direkt nach der Intervention mit den Mittelwerten zwei Monate nach der Intervention, kann man sehen, dass diese in beiden Gruppen gesunken waren. Dabei ist der Mittelwert bei der Kontrollgruppe zwei Monate nach der Intervention stärker gesunken als bei der Interventionsgruppe. Der signifikante Unterschied resultierte folglich daraus, dass der Mittelwert bei der Kontrollgruppe stärker gesunken ist als bei der Interventionsgruppe. Es stellt sich nun die Frage, warum die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe stärker gesunken sind als diejenigen der Interventionsgruppe. Einerseits könnte der Effekt, obwohl kein signifikanter Unterschied bei der Fehlerlernorientierung festgestellt werden konnte, dennoch auf die Intervention zurückzuführen sein, denn nach Pekrun (2006) kann eine positive Einstellung der Schüler*innen zu Fehlern positive Emotionen fördern und negative Emotionen reduzieren. Daher könnte angenommen werden, dass Schüler*innen, die einen positiven Umgang mit Fehlern im Workshop

haben, positivere Emotionen nach einem Fehler erleben als Schüler*innen, die diesen Umgang nicht erlebt haben.

Andererseits könnte es der Fall sein, dass Schüler*innen der Kontrollgruppe im Unterricht nach der Intervention negativere Emotionen in Bezug auf Fehler erlebten als Schüler*innen aus der Interventionsgruppe. Da nach Hascher und Hagenauer (2010) besonders öffentliche Fehler negativ erlebt werden, könnte es sein, dass die Lehrpersonen der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe weniger fehlerfreundlich waren oder die Mitschüler*innen ein negatives Verhalten zeigten und ihre Mitschüler*innen bei Fehlern beispielsweise auslachten. Daher könnte das ein weiterer Grund dafür sein, warum die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe stärker gesunken sind. Es wäre aber auch hier möglich, dass die Normen nicht (ganz) transparent bekanntgegeben wurden oder keine Lernsettings geschaffen wurden, in welchen dem Verbessern von Fehlern Zeit eingeräumt wurde, und sich daher die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler negativ verändert haben (Hascher & Hagenauer, 2010; Oser et al., 1999; Spychiger et al., 2006).

Dieses Ergebnis könnte aber auch mit dem Ergebnis in Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten zusammenhängen. Wie im nachfolgenden Kapitel 7.3 beschrieben wird, ist auch der Mittelwert der Kontrollgruppe zum Verständnis von NOS-Aspekten gesunken. Somit hatten die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe zwei Monate nach der Intervention ein weniger adäquates Verständnis von NOS-Aspekten als Schüler*innen aus der Interventionsgruppe. Nach der Verortung der Variablen im Modell der CVTAE von Pekrun (2006) wurde angenommen und konnte schließlich mit der Hypothese 2.2 bestätigt werden, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler hat. Folglich könnte angenommen werden, dass, wenn sich das Verständnis von NOS-Aspekten in eine weniger adäquate Richtung bewegte, dies einen Einfluss auf die Emotionen hatte und diese negativer wurden.

7.3 Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten

7.3.1 Diskussion zur direkten Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Da Fehler, wie im Kapitel 2.4 dargestellt, zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gehören und ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht, wurde zudem der Frage nachgegangen, inwiefern sich das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten in digital-basierten Lernprozessen durch eine Intervention positiv beeinflussen lässt. Es wurde angenommen, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe unmittelbar nach der Intervention ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten haben als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe (Hypothese 4.1.1). Doch auch die Hypothese 4.1.1 wurde wie die Hypothesen 3.1.1 und 3.1.2 widerlegt. Unmittelbar nach der Intervention hatten die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe kein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Die Intervention hatte somit keinen Einfluss auf das Verständnis der gewählten NOS-Aspekte. Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die einen geleiteten Umgang mit Fehlern im Workshop erlebten und zudem Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern und in diesem Rahmen auch NOS-Aspekte betrachteten, im Anschluss an die Studie kein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen, die diesen Umgang nicht erlebten. Es sind unterschiedliche Gründe denkbar, warum die Intervention keinen Effekt zeigte. Einer der naheliegendsten Gründe scheint zu sein, dass die meisten im Fragebogen vorkommenden NOS-Aspekte nicht explizit thematisiert und auch nicht diskutiert sowie reflektiert wurden. Im Rahmen der Intervention wurde lediglich der Umgang mit Fehlern als NOS-Aspekt explizit thematisiert. Die NOS-Aspekte aus den Fragebögen kamen nur in den Videos implizit vor. Wie im Kapitel 2.5.2 aufgezeigt, reicht eine implizite Thematisierung von NOS-Aspekten nicht aus, damit die Schüler*innen über NOS lernen (z. B. Bell et al., 2003; Hofheinz, 2008; Khishfe & Abd-El-Khalick,

2002). Es könnte folglich sein, dass die Schüler*innen Fehler nicht als NOS-Aspekte ansahen oder die Übertragung der Thematisierung von Fehlern auf die NOS-Skalen für sie zu schwer war.

7.3.2 Diskussion zur nachhaltigen Wirkung der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Wie beim Umgang mit Fehlern war auch es beim Verständnis von NOS-Aspekten das Ziel, einen nachhaltigen Effekt durch die Intervention zu erreichen. Daher wurde auch hier der Frage nachgegangen, inwiefern die Wirkung auf das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten noch zwei Monate nach der Intervention nachweisbar ist. Da auch beim Verständnis von NOS-Aspekten ein direkter Effekt erwartet wurde, wurde angenommen, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe noch zwei Monate nach der Intervention ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten haben als Schüler*innen der Kontrollgruppe (Hypothese 4.2.1). Analog zur Hypothese 3.2.2 wurde auch die Hypothese 4.2.1 bestätigt. Zwei Monate nach der Intervention hatten die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten als Schüler*innen der Kontrollgruppe. Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die einen geleiteten Umgang mit Fehlern im Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* erlebten und zudem Fehler von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern und in diesem Rahmen auch NOS-Aspekte betrachteten, zwei Monate nach dem Workshop ein leicht adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten aufwiesen als Schüler*innen, die diesen Umgang nicht erlebten. Jedoch müssen auch hier die Mittelwerte der Interventions- und Kontrollgruppe verglichen werden. Während der Mittelwert bei der Interventionsgruppe stabil blieb, sank der Mittelwert bei der Kontrollgruppe. Daher resultiert das signifikante Ergebnis nicht daraus, dass das Verständnis der Schüler*innen aus der Interventionsgruppe zu NOS-Aspekten adäquater wurde, sondern daraus, dass sich das Verständnis der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe in eine weniger adäquate Richtung veränderte. Es stellt sich nun auch hier die

Frage, warum sich das Verständnis der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe in eine weniger adäquate Richtung veränderte. Da NOS in der Schweiz ein Unterrichtsinhalt der Sekundarstufe I darstellt, wäre es möglich, dass die Lehrpersonen der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe NOS nach der Intervention im Unterricht behandelten und Naturwissenschaftler*innen als allwissend, die Erkenntnisgewinnung als geradlinigen Prozess ohne Fehler und das Wissen als unveränderbar vermittelten. Bei einer solchen Vermittlung wird angenommen, dass sich das Verständnis von NOS-Aspekten in eine weniger adäquate Richtung verändern würde.

Es wäre aber auch möglich, dass außerschulische Faktoren, wie die COVID-19-Pandemie, einen stärkeren Einfluss auf die Schüler*innen der Kontrollgruppen als auf die Schüler*innen der Interventionsgruppen hatten. Jedoch wäre nach Demirdögen und Aydın-Günbatar (2021) anzunehmen, dass gerade die COVID-19-Pandemie einen optimalen Kontext bieten würde, NOS-Aspekte zu thematisieren. Wenn aber die Thematik im Unterricht aufgegriffen wurde und die Lehrpersonen Fehler als unzulässig bezeichnet haben, könnte dies einen Effekt auf das Verständnis der NOS-Aspekte gehabt haben. Im Rahmen der COVID-19-Pandemie haben aber auch das familiäre und kollegiale Umfeld der Schüler*innen sowie die Medien einen starken Einfluss auf die Schüler*innen. Daher wäre neben einem unpassenden Umgang der Lehrpersonen mit dieser Thematik auch ein unpassender Umgang der Familien und Freunde denkbar. Zudem könnte es sein, dass die Schüler*innen unpassende oder falsche Medienbeiträge nicht identifizieren können und alles Veröffentlichte für wahr halten. Auch diese Faktoren könnten das Verständnis von NOS-Aspekten beeinflussen (Höttecke & Hopf, 2018; Schecker et al., 2018).

Bereits im Kapitel 7.2.2 wurde beschrieben, dass dieses Ergebnis mit dem Ergebnis in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zusammenhängen könnte. Auch bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler war zu beobachten, dass der Mittelwert der Kontrollgruppe zwei Monate nach der Intervention gesunken war. Nach der Verortung der beiden Variablen im Modell der CVTAE von Pekrun

(2006) wurde angenommen und konnte mit der Hypothese 2.2 bestätigt werden, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler hat. Folglich wäre anzunehmen, dass eine Bewegung des Verständnisses von NOS-Aspekten in eine weniger adäquate Richtung einen Einfluss auf die Emotionen hatte und diese negativer wurden. Da nach dem Modell der CVTAE von Pekrun (2006) auch Rückkopplungsprozesse zwischen den Variablen anzunehmen sind, könnte es aber auch sein, dass die negativeren affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler einen Einfluss auf das Verständnis von NOS-Aspekten hatten und dass sich dieses daher negativ veränderten.

7.4 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der Variablen über die Zeit

Es wurde der Frage nachgegangen, wie stabil sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten und der Umgang der Schüler*innen mit Fehlern über die Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) zeigen. Hier wurden die Hypothesen aufgestellt, dass sich sowohl das Verständnis von NOS-Aspekten (H5.1.1) als auch die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen (H5.1.2) über die Zeitpunkte t_1 , t_2 und t_3 stabil zeigen. Um sich kausalen Effekten zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und dem Umgang mit Fehlern über die Zeit anzunähern, wurde zudem untersucht, welche wechselseitigen Wirkungen das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten mit dem Umgang mit Fehlern über die Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) haben. Es wurden die Hypothesen aufgestellt, dass ein hoher Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit einem hohen Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt einhergeht (H5.2.1), und umgekehrt, dass ein hoher Wert bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt mit einem

hohen Wert beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt einhergeht (H5.2.2).

Die Stabilitätsparameter zeigten, dass die Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten über die drei Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) hoch war. Dies bedeutet, dass Schüler*innen, die direkt vor der Intervention (t_1) höhere Werte beim Verständnis von NOS-Aspekten im Vergleich zu anderen Schüler*innen aufweisen, auch direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) höhere Werte haben. Das Verständnis von NOS-Aspekten wird daher als stabil angenommen. Die Hypothese 5.1.1 wurde bestätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt viel vom Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt vorhersagt. Dies bedeutet, dass das Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt einen statistisch bedeutsamen Vorhersagewert für das Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt hat (Geiser, 2010; Kleinke et al., 2017). Insofern bedingt die einmal entwickelte Vorstellung von NOS-Aspekten die spätere Vorstellung. Kremer und Mayer (2013) konnten in ihrer Studie zeigen, dass sich die Vorstellung der Schüler*innen über NOS über ein Schuljahr in der Sekundarstufe I veränderte, wobei sich die Vorstellung von Schüler*innen aus höheren Klassenstufen (7.–9. Klasse) stabiler zeigten als bei Schüler*innen aus tieferen Klassenstufen (5.–6. Klasse). Da in dieser Studie Siebt- bis Neuntklässler*innen befragt wurden und sich das Verständnis von NOS-Aspekten über die drei Messzeitpunkte stabil zeigte, deckt sich das Ergebnis dieser Studie mit dem Ergebnis von Kremer und Mayer (2013).

Die Fehlerlernorientierung war über die Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) weniger rangstabil als das Verständnis von NOS-Aspekten. Die Stabilitätsparameter zeigten stabile interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Fehlerlernorientierung über die beiden Zeitpunkte t_1 und t_2 . Über die Zeitpunkte t_2 und t_3 zeigten sie sich jedoch nicht mehr stabil. Die Stabilität zwei Monate nach der Intervention hing

stärker vom Zeitpunkt direkt vor der Intervention (t_1) ab. Die Hypothese 5.1.2 wurde somit nur teilweise bestätigt. Da auch hier bisher keine empirischen Studien zur Stabilität der Fehlerlernorientierung bekannt sind, kann dieses Ergebnis nicht mit anderen Studienergebnissen verglichen werden. Es wird folglich versucht, eine Erklärung für die weniger rangstabile Fehlerlernorientierung im Vergleich zum Verständnis von NOS-Aspekten zu finden.

Die Schüler*innen kamen mit einer bestimmten Fehlerlernorientierung in den Workshop (t_1). Obwohl diese über den Workshop hinweg relativ stabil blieb ($B = 0.62, p < 0.001$), veränderte sie sich hinsichtlich der Rangfolge leicht (t_1-t_2). Zwei Monate nach dem Workshop (t_3), nach dem Besuch des regulären Unterrichts, hatten sie wieder die Fehlerlernorientierung bzw. die Rangreihe wie direkt vor dem Workshop (t_1). Dies könnte folglich bedeuten, dass Schüler*innen, die Fehler eher nicht als Lerngelegenheit sahen (tieferer Rang), diese nach der Intervention etwas eher als Lerngelegenheit sahen als Schüler*innen, die diese von vornherein als Lerngelegenheit ansahen (höherer Rang). Nachdem sie wieder zwei Monate den regulären Unterricht besuchten, könnten die Inhalte des Workshops etwas in Vergessenheit geraten sein, wodurch Fehler wieder weniger als Lerngelegenheit gesehen wurden (tieferer Rang); oder umgekehrt, dass Schüler*innen, die Fehler als Lerngelegenheit sahen (höherer Rang), diese nach der Intervention etwas weniger als Lerngelegenheit im Vergleich zu anderen Schüler*innen wahrgenommen haben (tieferer Rang), zwei Monate später aber wieder eher als Lerngelegenheit sahen wie andere Schüler*innen (höherer Rang).

Die Korrelation zwischen der Fehlerlernorientierung und dem Verständnis von NOS-Aspekten zu t_1 zeigte, dass ein starker Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht. Dieser Zusammenhang war ausgehend von der Theorie sowie aufgrund der bestätigten Hypothese 2.1, welche einen gerichteten Zusammenhang zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und der Fehlerlernorientierung nachwies, zu erwarten und ist zentral, um mögliche kreuzverzögerte Effekte anzunehmen. Es stellt sich nun die Frage, ob der Zusammenhang ausreicht, um eine statistisch signifikante prädiktive Kraft eines früheren Verständ-

nisses von NOS-Aspekten auf eine spätere Fehlerlernorientierung bzw. einer früheren Fehlerlernorientierung auf ein späteres Verständnis von NOS-Aspekten nachzuweisen.

Die Ergebnisse des ARM zeigten, dass diese Vermutung nur teilweise gestützt werden kann. Anhand der kreuzverzögerten Pfade konnten keine kreuzverzögerten Effekte zwischen hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. Dies bedeutet, dass das Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Messzeitpunkt die Fehlerlernorientierung zu einem späteren Messzeitpunkt nicht statistisch bedeutsam vorhersagt. Somit wurde die Hypothese 5.2.1, dass ein adäquates Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten zu einer positiveren Fehlerlernorientierung über die Zeit führt, widerlegt. Dies ist überraschend, weil die Hypothese 2.1, dass das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten einen Effekt auf deren Fehlerlernorientierung hat, bestätigt werden konnte. Die signifikanten und hohen Stabilitätsparameter zeigten, dass viel der Varianz der Variable *Fehlerlernorientierung* zum Zeitpunkt t_2 sowie zum Zeitpunkt t_3 durch den Zeitpunkt t_1 erklärt wird. Dies würde der Annahme entsprechen, dass, wie im Kapitel 3.3 dargestellt, die Fehlerlernorientierung ein relativ stabiles „trait-artiges“ Konstrukt ist, dass sich über die Zeit wenig verändert und durch kurzzeitige Interventionen kaum beeinflussen lässt. Dies könnte spezifisch für die befragte Altersgruppe sein (Sekundarstufe I: 7.–9. Klasse). In Bezug auf die Altersgruppe könnte angenommen werden, dass die Intervention bei jüngeren Schüler*innen, bei denen der Umgang mit Fehlern noch nicht so stark durch die Schule geprägt und noch nicht über die Schuljahre gefestigt wurde, erfolgreich sein könnte (vgl. z.B. Hascher & Hagenauer, 2010; Spychiger et al., 2006).

Zwischen der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt und dem Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt konnten im Gegensatz zur Hypothese 5.2.1 einige kreuzverzögerte Effekte festgestellt werden. Somit wurde die Hypothese 5.2.2 teilweise bestätigt. Zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor

der Intervention (t_1) konnte kein Zusammenhang mit dem Verständnis von NOS-Aspekten direkt nach der Intervention (t_2) festgestellt werden. Dies bedeutet, dass die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor der Intervention keinen signifikanten Effekt auf deren Verständnis von NOS-Aspekten direkt nach der Intervention hatte.

Jedoch wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor der Intervention (t_1) mit deren Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention (t_3) festgestellt. Somit hatte die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen direkt vor der Intervention einen vorhersagenden Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention. Dieses Ergebnis ist schwierig zu interpretieren, da (zusätzlich) ein kurzfristiger Effekt zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor der Intervention (t_1) mit deren Verständnis von NOS-Aspekten direkt nach der Intervention (t_2) erwartet wurde. Eine denkbare Ursache für einen solchen verzögerten Effekt zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor der Intervention (t_1) mit deren Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention (t_3) könnte zum Beispiel sein, dass neu erworbene Einstellungen erst mittelfristig kognitiv verarbeitet werden und/oder sich durch eine Habitualisierung im alltäglichen Lernverhalten durchsetzen müssen (vgl. z. B. Hoffmann & Engelkamp, 2013). Für diese Begründung gibt es in Bezug auf die untersuchten Variablen bislang noch keine anderen Forschungsergebnisse.

Entgegen der Erwartung hatte die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen nach der Intervention (t_2) einen negativen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention (t_3). Dies bedeutet, dass Schüler*innen mit einer positiveren Fehlerlernorientierung nach dem Workshop kein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention hatten. Möglicherweise waren die Schüler*innen nach dem Workshop darüber irritiert, ob man aus Fehlern lernen kann oder nicht. Diese Irritation könnte aus der vertieften Auseinandersetzung mit Fehlern in der Interventionsgruppe ausgelöst worden sein oder allgemein durch das häufige Fehlermachen in beiden Gruppen. Außerdem könnte die Irritation dazu geführt haben,

dass sich dies negativ auf das Verständnis der Schüler*innen zu NOS-Aspekten ausgewirkte. Eine weitere Erklärung wäre, dass Schüler*innen, welche der Nützlichkeit der Fehlerlernorientierung nach der Intervention zustimmen, diese vielleicht nicht wirklich tiefer verarbeitet haben (vgl. z. B. Hoffmann & Engelkamp, 2013). Wie bereits beschrieben, könnten auch eine Diskussion und eine Reflexion von Fehlern gefehlt haben, damit die Schüler*innen die Intervention zum Umgang mit Fehlern auf einer metakognitiven Ebene auf ihre Fehlerlernorientierung übertragen konnten. Vermutlich fehlte daher die Selbsteinsicht (vgl. z. B. Escher & Messner, 2015).

Da weitere Variablen wie das *Geschlecht*, das *Alter*, die *Schulstufe*, das *Niveau* und die *Intervention* einen Effekt auf die Fehlerlernorientierung sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten haben könnten, wurden diese Variablen als Kontrollvariablen hinzugezogen. Es konnten keine Effekte der Kontrollvariablen auf die Fehlerlernorientierung zu den drei Messzeitpunkten festgestellt werden. Im Gegensatz zur Fehlerlernorientierung konnten Effekte der Kontrollvariablen auf das Verständnis von NOS-Aspekten nachgewiesen werden. Das Geschlecht und das Niveau hatten einen negativen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 . Dies bedeutet, dass Schüler ein leicht adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten direkt vor dem Workshop hatten als Schülerinnen. Außerdem hatten Schüler*innen aus der Sekundarschule (höheres Niveau) ein leicht adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 als Schüler*innen aus der Realschule (niedrigeres Niveau). Vergleicht man dieses Ergebnis mit Ergebnissen aus anderen Studien, stellt man fest, dass die Ergebnisse nicht konsistent sind. Beispielsweise stellten Deng et al. (2014) kaum Geschlechterunterschiede und Unterschiede in Bezug auf das Niveau fest, wohingegen beispielsweise Chai, Deng und Tsai (2012) signifikante Geschlechterunterschiede und Kremer (2010) signifikante Niveauunterschiede feststellen konnten. So zeigten die Ergebnisse von Chai et al. (2012), dass Schüler ein adäquateres Verständnis von NOS haben als Schülerinnen, und die Ergebnisse von Kremer (2010), dass Schüler*innen aus einem höheren Leistungsniveau ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten haben

als Schüler*innen aus einem tieferen Leistungsniveau. Die Ergebnisse aus der vorliegenden Studie decken sich mit den Ergebnissen von Chai et al. (2012) und Kremer (2010). Neben den Effekten der Kontrollvariablen *Geschlecht* und *Niveau* auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_1 konnte ein negativer Effekt der Schulstufe auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass Schüler*innen aus tieferen Stufen direkt nach dem Workshop ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus höheren Stufen. Dieses Ergebnis könnte mit dem Ergebnis von Kremer und Mayer (2013) erklärt werden, welche feststellen konnten, dass das Verständnis von NOS-Aspekten umso stabiler ist, je höher die Klassenstufe ist. So wäre es möglich, dass sich das Verständnis von Schüler*innen aus einer tieferen Klassenstufe über den Kurs in eine adäquatere Richtung bewegte als das Verständnis von Schüler*innen aus einer höheren Klassenstufe. Zuletzt hatte die Intervention einen Effekt auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 . Dies bedeutet, dass Schüler*innen aus der Experimentalgruppe zwei Monate nach dem Workshop ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe. Warum ein Effekt erst zwei Monate nach der Intervention nachzuweisen war, kann, wie bereits im Kapitel 7.3.2 erläutert, nur gemutmaßt werden.

Insgesamt werden 48.2 % der Varianz der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2 und 37.9 % der Varianz der Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3 durch das Modell erklärt. Zudem werden insgesamt 60.6 % der Varianz des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2 und 52.0 % der Varianz des Verständnisses von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3 durch das Modell erklärt. Die verbliebenen Varianzen könnten dadurch erklärt werden, dass die Variablen von anderen Faktoren beeinflusst werden, welche nicht im Modell berücksichtigt wurden (Geiser, 2010).

Da die Effekte der kreuzverzögerten Pfade nur schwach waren und die Stichprobe für ein solch komplexes Modell eher gering ist, sollte den Resultaten nicht zu starke Bedeutung beigemessen werden. Vielmehr sollte ein solcher Zusammenhang nochmals neu und weiter untersucht

werden. Dies würde dabei helfen, die heterogenen und schwierig zu erklärenden Effekte zu prüfen und eventuell besser zu verstehen.

7.5 Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Interviews, die anhand der sechs Bereiche des Interviewleitfadens dargestellt wurden, diskutiert. Das Ziel der Interviews war es, eine generelle und möglichst umfassende Einstellung zu Fehlern in der Erkenntnisgewinnung zu erheben. Im ersten Bereich der Interviews wurde auf die (1) Einstellung zu Fehlern beim naturwissenschaftlichen Arbeiten und im Erkenntnisgewinnungsprozess fokussiert. Danach wurden die Schüler*innen gefragt, (2) warum und (3) wo, das heißt, in welchen Momenten des Prozesses, Fehler passieren können. Anschließend wurde der Fokus auf die (4) Fehler beim Experimentieren und die (5) Gründe zur Entstehung von Beobachtungsfehlern gelegt. Zum Schluss wurde befragt, (6) wie die Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern umgehen würden.

7.5.1 Diskussion des ersten Bereichs *Fehler im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess*

Wie in den Ergebnissen im Kapitel 6.2 ersichtlich, gehörten Fehler für die Mehrheit der interviewten Schüler*innen zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und zum Erkenntnisgewinnungsprozess. Obwohl der Begriff Fehler nur einmal konkret erwähnt wurde, machten die meisten interviewten Schüler*innen Aussagen über das Falschmachen, Verbessern oder darüber, dass etwas anders gemacht werden muss. Viele machten auch Aussagen dazu, dass sie versuchen würden, etwas zu machen oder dass ausprobiert/experimentiert wird. Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit der im Kapitel 2.5.3 formulierten Annahme, dass Fehler für Schüler*innen eher nicht zur Erkenntnisgewinnung gehören.

Es könnte sein, dass dieses Ergebnis durch das gewählte Beispiel der Gewinnung neuer Erkenntnisse zum autonomen Fahren sowie die Ein-

wicklung eines selbstfahrenden Autos beeinflusst wurde. Da die Schüler*innen nicht wussten, wie ein autonom fahrendes Auto entwickelt wird, wurden Unsicherheiten sowie Aussagen über das Falschmachen, Verbessern oder darüber, dass etwas anders gemacht werden muss, impliziert. Es wäre spannend, dieses Interview im Rahmen eines anderen Beispiels zu führen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

7.5.2 Diskussion des zweiten Bereichs *Gründe für Fehler* (*Warum?*)

Die interviewten Schüler*innen waren in der Lage, unterschiedliche Gründe zu nennen, warum Fehler passieren können. Da es im Interview darum ging, Wissen zum autonomen Fahren zu gewinnen sowie ein selbstfahrendes Auto zu entwickeln, ist es nicht verwunderlich, dass die interviewten Schüler*innen Herstellungsfehler als häufigste Gründe für Fehler nannten. Auch die zweithäufigste (Programmierfehler) und die dritthäufigsten Nennungen (unzureichendes Wissen oder unzureichende Fähigkeiten) sind nachvollziehbar. Da die interviewten Schüler*innen mehrheitlich die Vorstellung hatten, dass ein autonom fahrendes Auto programmiert werden muss und alle Schüler*innen im besuchten *Workshop Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* unterschiedliche Programmieraufgaben gelöst und dabei viele Fehler gemacht haben, ist es nachvollziehbar, dass Programmierfehler häufig genannt wurden. Es ist außerdem nachvollziehbar, dass die Schüler*innen Fehler auf unzureichendes Wissen oder Können zurückführten, da sie nicht wussten, wie ein autonom fahrendes Auto entwickelt wird. Aufgrund der Erfahrungen im Workshop, aber auch in der Schule und im Alltag ist es außerdem verständlich, warum sie Flüchtigkeitsfehler gleich oft nannten wie Fehler, die auf unzureichendes Wissen oder Können zurückzuführen sind, denn Flüchtigkeitsfehler können immer und überall gemacht werden.

Drei der fünf interviewten Schüler*innen waren aus der Kontrollgruppe, welche Materialfehler als Grund nannten. Materialfehler wurden im Workshop nur mit den Schüler*innen aus der Interventionsgruppe

thematisiert, jedoch konnten auch Schüler*innen aus der Kontrollgruppe Fehler auf Materialfehler (z. B.: „*micro:bit* defekt“, „LED defekt“, „Krokodilklemme falsch angeschlossen“) im Workshop zurückführen und daher diesen Fehlertyp im Interview benennen. Jedoch ist es auch möglich, dass diese Antworten auf Erfahrungen in der Schule zurückzuführen sind.

Es ist außerdem erstaunlich, dass die interviewten Schüler*innen Fehler nur selten auf das Testen bzw. Ausprobieren zurückführen, denn gerade dieser Bereich impliziert stark, dass Fehler gemacht werden. Weniger erstaunlich ist, dass Fehler selten auf die Zusammenarbeit, auf Rechenfehler oder auf Sabotage zurückgeführt wurden. Es kann angenommen werden, dass Schüler*innen die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftler*innen selten als Grund nannten, da sie Wissenschaftler*innen nach Höttecke und Hopf (2018), welche sich auf Mead und Méraux (1957) beziehen, als intelligent und als allwissend vorstellen (Höttecke, 2004). Daher wird angenommen, dass sich Schüler*innen die Zusammenarbeit mit Wissenschaftler*innen fehlerfrei vorstellen. Da Berechnungen im Prozess nur selten erwähnt wurden, ist es nicht verwunderlich, dass Rechenfehler selten als Grund für Fehler genannt wurden. Da die Sabotage nur einmal genannt wurde, könnte angenommen werden, dass die Mehrheit der Fehler nicht auf böswillig verursachte Fehler zurückzuführen ist.

Die Aufzählungen der interviewten Schüler*innen von Gründen für Fehler auf unterschiedlichen Ebenen zeigten, dass Schüler*innen Fehler nicht nur auf die eigene Person als Wissenschaftler*innen beziehen, sondern auch auf andere Personen oder Wissenschaftler*innen. Zudem zeigen die unterschiedlichen Ebenen, dass ihnen bewusst ist, dass es unterschiedliche Gründe bzw. Ursachen für Fehler geben kann.

7.5.3 Diskussion des dritten Bereichs *Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?)*

Die Schüler*innenantworten zu den Momenten im Prozess, in welchen Fehler passieren können, sind ähnlich zu den Antworten zu den Gründen, warum Fehler passieren können. Analog zu den Gründen, warum

Fehler passieren können, wurden auch bei den Momenten im Prozess, in welchen Fehler passieren können, am häufigsten die Herstellung und am zweithäufigsten die Programmierung genannt.

Es ist auch hier wieder erstaunlich, dass das Testen eher von wenigen interviewten Schüler*innen als Moment, in dem Fehler passieren können, genannt wurde. Zudem ist erstaunlich, dass das Experimentieren von nur zwei Schüler*innen genannt wurde. Da sich die Schüler*innen das Experimentieren nach Höttecke und Hopf (2018), welche sich unter anderem auf Buffler et al. (2009), Carey et al. (2007), Heinicke und Heering (2013), Höttecke (2001a), Lubben und Millar (1996) sowie K. Meyer und Carlisle (1996) beziehen, als Ausprobieren oder Herausfinden und nicht als zielgerichtetes Handeln vorstellen, ist es noch überraschender, dass Fehler in diesem Moment nicht öfter genannt wurden.

Weniger erstaunlich ist, dass Fehler seltener bei der Planung, bei der Recherche oder dem Materialeinkauf genannt werden, denn für viele der interviewten Schüler*innen begann der Erkenntnisgewinnungs- und Entwicklungsprozess des autonom fahrenden Autos nach diesen Schritten. Spannend ist, dass eine Person die Erkenntnisgewinnung, konkret die Wissensgewinnung, als Moment nannte, in dem Fehler gemacht werden können.

Etwas mehr als ein Drittel der interviewten Schüler*innen sagte, dass Fehler überall, also in jedem Moment des Prozesses, passieren können. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus dem ersten Bereich, dass Fehler für die Mehrheit der interviewten Schüler*innen zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und zum Erkenntnisgewinnungsprozess gehören.

7.5.4 Diskussion des vierten Bereichs *Fehler beim Experimentieren*

Fast alle interviewten Schüler*innen beschrieben Fehler beim Experimentieren, welche bei der Umsetzung passieren. Eher wenige nannten Fehler, die bei der Planung passieren, und nur einmal wurde ein Fehler genannt, der bei der Auswertung passiert. Dieses Ergebnis könnte mit den Schüler*innenvorstellungen zum Experimentieren zusammenhängen. Nach Höttecke und Hopf (2018), unter Bezug auf Buffler et

al. (2009), Carey et al. (2007), Heinicke und Heering (2013), Höttecke (2001a), Lubben und Millar (1996) sowie K. Meyer und Carlisle (1996), stellen sich die Schüler*innen das Experimentieren als Ausprobieren oder Herausfinden und nicht als zielgerichtetes Handeln vor. Diese Schüler*innenvorstellung wird stark vom naturwissenschaftlichen Unterricht geprägt, in dem die Begriffe Experiment bzw. Experimentieren oft für alle praktischen Aktivitäten verwendet werden. Der Begriff Experiment gilt dabei meist als Synonym für Untersuchung und Versuch. Analog wird keine Unterscheidung zwischen den Begriffen experimentieren, herausfinden und ausprobieren gemacht (McComas, 1996). Daraus resultiert das mangelnde Verständnis der Schüler*innen, dass ein Experiment ein zielgerichtetes Handeln ist. Damit kann auch erklärt werden, warum die Schüler*innen meist nicht verstehen, warum Hypothesen formuliert und Experimente wiederholt werden sollten. Nach Carrier (2001) haben Schüler*innen meist nicht die Vorstellung, dass Ergebnisse bereits vor der Durchführung von Experimenten erwartet werden können. Entgegen dieser Schüler*innenvorstellung ist es jedoch so, dass Wissenschaftler*innen eine klare Vorstellung über die Durchführung und mögliche Ergebnisse haben müssen, damit sie die Experimente adäquat planen und anschließend auswerten können. Aufgrund der Vorstellung der möglichen oder erwarteten Ergebnisse werden Hypothesen formuliert, welche anhand von Experimenten geprüft werden (Abd-El-Khalick, 2006). Es wird ersichtlich, dass das Verständnis von Experimenten mit dem Verständnis von NOS zusammenhängt. Das experimentelle Vorgehen ist eine naturwissenschaftliche Arbeitsweise und somit eine Methode der Erkenntnisgewinnung (z. B. McComas, 1996). Zu einem adäquaten Verständnis dieser Arbeitsweise gehört auch ein Verständnis für die Bedeutung und Konsequenzen von Fehlern. So sind Fehler beim Experimentieren beispielsweise mit der Überprüf- und Reproduzierbarkeit von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen verknüpft. Werden beim Experimentieren Fehler gemacht – ob bei der Planung, der Umsetzung oder der Auswertung – sind die Ergebnisse nicht durch andere Naturwissenschaftler*innen überprüf- und reproduzierbar. Solche Fehler haben einen Einfluss auf das Merkmal der Vorläufigkeit des

naturwissenschaftlichen Wissens. Werden Fehler nicht erkannt, wird falsches oder fehlerhaftes Wissen weitergegeben. Werden aber Fehler im bestehenden Wissen aufgrund von Experimenten entdeckt, kann sich dieses bestehende Wissen verändern. Fehlt somit bei den Schüler*innen ein adäquates Verständnis von NOS, kann dies eine Auswirkung auf ihre Vorstellungen von Fehlern beim Experimentieren haben.

Aufgrund der im Kapitel 2.5.3 beschriebenen Schüler*innenvorstellungen könnte zusammenfassend angenommen werden, dass die Schüler*innen kein adäquates Verständnis vom Experiment als Methode der Erkenntnisgewinnung haben und für die Schüler*innen die Planung sowie die Auswertung eher nicht zum Experimentieren dazugehören. Als Folge dessen könnte angenommen werden, dass Schüler*innen Fehler deshalb eher wenig bzw. selten bei diesen Schritten beschrieben haben.

7.5.5 Diskussion des fünften Bereichs *Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern*

Gut ein Drittel der interviewten Schüler*innen hatte keine Vorstellung davon, wie Beobachtungsfehler entstehen können oder gaben eine falsche Erklärung für die Entstehung von Beobachtungsfehlern. Dies ist überraschend, da einfache Erklärungen wie *etwas wurde nicht gesehen, es wurde falsch beobachtet oder es wurde ungenau beobachtet* korrekte Erklärungen dafür wären, wie Beobachtungsfehler entstehen können.

Daher ist es wenig überraschend, dass diese Erklärung von der Mehrheit der interviewten Schüler*innen als Beobachtungsfehler genannt wurde. Da eine Person die Ursache für die Entstehung von Beobachtungsfehlern ist, ist es jedoch überraschend, dass einige Schüler*innen nicht nur einen rein menschlichen Grund als Ursache nannten, sondern einen menschlichen Grund mit einem sachlichen/materiellen Einfluss. Diese Schüler*innen scheinen verstanden zu haben, dass äußere Einflüsse die Beobachtung beeinträchtigen können.

Es wurde eine Kategorisierung in rein menschliche Gründe und menschliche Gründe in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss vorgenommen, da sich die Aussagen der Schüler*innen nicht oder

nicht eindeutig in die vier Subkategorien von Allchin (2001) (vgl. Kap. 2.4) einteilen ließen. Diese vier Subkategorien von Allchin (2001) scheinen sinnvoll zu sein, wenn man Wissenschaftler*innen zu Beobachtungsfehlern befragt. Für die Sekundarstufe I scheinen diese nicht passend zu sein, da sie zu weitgreifend sind und Schüler*innen in der Schule Beobachtungen zudem nicht gleich planen wie Wissenschaftler*innen.

7.5.6 Diskussion des sechsten Bereichs *Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern*

Es ist spannend zu sehen, dass fast alle interviewten Schüler*innen positiv mit Fehlern umgehen würden, wenn sie Wissenschaftler*innen wären. Nur eine Person beschrieb einen rein negativen Umgang mit Fehlern, und nur wenige Schüler*innen nannten in Verbindung mit dem Begehen von Fehlern negative Gefühle wie Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration oder Verzweiflung. Jedoch nannten ebendiese Schüler*innen anschließend einen positiven Umgang auf kognitiver und/oder behavioraler Ebene. Dieses Ergebnis stützt die Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Spychiger et al. (2006), welche aufzeigten, dass sich ein gewisses Ausmaß an negativen Emotionen positiv auf die Weiterarbeit auswirken kann. Wenn negative Gefühle aber zu stark ausgeprägt sind, wie es in der vorliegenden Studie bei einer Person der Fall war, ist dies nach Spychiger et al. (2006) lernhinderlich und kann zu einem Leistungszusammenbruch führen.

Die Antworten zum Umgang mit Fehlern auf der behavioralen Ebene lassen darauf schließen, dass die Schüler*innen als Wissenschaftler*innen einen positiven Umgang mit Fehlern leben und diese kognitiv auch nutzen würden.

7.5.7 Diskussion Hypothese 6.2.1

Die Hypothese 6.2.1, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe ein adäquateres Verständnis von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess haben als Schüler*innen der Kontrollgruppe, wurde widerlegt. Es wurde angenommen, dass speziell in den Bereichen (2) *Gründe für*

Fehler (Warum?), (5) *Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern* und (6) *Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern* ein Unterschied zwischen Schüler*innen der Interventions- und Schüler*innen der Kontrollgruppe festzustellen wäre, da in den Interventionsgruppen Fehlertypen analysiert und somit mögliche Fehlerursachen besprochen und Beobachtungsfehler thematisiert sowie unterschiedliche Wissenschaftler*innen und deren Einstellungen zu Fehlern betrachtet wurden. Es wurde zudem angenommen, dass die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe durch die Intervention auch Fehler eher als Bestandteil des Erkenntnisgewinnungsprozesses und des naturwissenschaftlichen Arbeitens sehen, Fehler häufiger in unterschiedlichen Momenten beschreiben sowie Fehler auch öfter auf die Planung sowie Auswertung von Experimenten beziehen würden. Es wurde lediglich ein schwacher, aber nicht signifikanter Unterschied in den Bereichen (4) *Fehler beim Experimentieren* und (5) *Gründe für die Entstehung von Beobachtungsfehlern* beobachtet. Insgesamt wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe festgestellt. Es wird vermutet, dass die Effekte der Unterschiede in den einzelnen Bereichen zu klein und nicht signifikant waren und daher insgesamt kein signifikanter Unterschied aufgewiesen werden konnte.

Gründe, warum in den Bereichen keine signifikanten Unterschiede aufgewiesen werden konnten, wären, dass die Zeitspanne zwischen dem Workshop und den Interviews zu groß war (z. B. Theyßen, 2014). Außerdem wäre es möglich, dass die Intervention nicht passend war, um das Verständnis der Schüler*innen von Fehlern im Erkenntnisgewinnungsprozess positiv zu beeinflussen. Es wäre ebenso naheliegend zu vermuten, dass die Schüler*innen im Workshop eine möglicherweise nicht ausreichend starke Verbindung zum Umgang mit Fehlern entwickelten oder sie zu wenig Analogien zwischen dem Beispiel im Interview und den Aufgaben im Workshop feststellten. Es wäre möglich, dass der Mittelwertsunterschied von $M = 7.75$ bei der Interventionsgruppe und $M = 7.2$ bei der Kontrollgruppe mit einer größeren Stichprobe hätte signifikant werden und damit ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen hätte aufgewiesen werden können.

7.6 Limitationen

Die vorliegende Studie leistet einen Beitrag dazu, den Zusammenhang zwischen dem NOS-Verständnis und dem Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I besser zu verstehen. Aufgrund der Stichprobe, des Designs und der Erhebungsinstrumente ergaben sich Limitationen, welche eine Auswirkung auf die Ergebnisse haben. Diese sollen nun beleuchtet werden.

Eine erste Limitation ergab sich in Bezug auf die Stichprobe, welche aufgrund der zu dieser Zeit vorherrschenden COVID-19-Pandemie eher klein ausgefallen ist. Viele Lehrpersonen wollten nach dem ersten Lockdown keine außerschulischen Lernorte besuchen und haben sich daher nicht für Kurse im *Smartfeld* angemeldet oder haben ihre Besuche abgesagt. Die Erhebung wurde zwar verlängert, musste jedoch nach dem zweiten Lockdown trotz des eher kleinen N von 269 Schüler*innen gestoppt werden, denn der zweite Lockdown brachte erneut viele Unsicherheiten, wie die erneute Schließung von außerschulischen Lernorten oder die ungewisse Dauer des Lockdowns mit sich. Die eher kleine Stichprobe von $N = 269$ ist insbesondere für die Berechnung von komplexeren Modellen, wie ARM, grenzwertig, denn je komplexer die Modelle sind und je kleiner dabei die Stichprobe ausfällt, desto unsicherer sind die Ergebnisse. Durch die Verringerung der Stichprobengröße nimmt die Power und damit die Wahrscheinlichkeit, Signifikanz nachweisen zu können, ab. Zudem können potenzielle Schätzprobleme und Verzerrungen bei so kleinen Stichproben auftreten (z. B. Rosseel, 2020).

In Bezug auf die Stichprobe ergab sich eine weitere Limitation. Da sich der für die Intervention gewählte Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* an Schüler*innen der Sekundarstufe I (7.–9. Klasse) richtete, beschränkt sich die Stichprobe auf diese Klassenstufen. Der Vorteil dabei ist, dass die Klassen vergleichbar sind. Es könnte jedoch auch von Nachteil gewesen sein, eine Stichprobe im Alterssegment der 7.–9. Schulstufe und somit der Sekundarstufe I zu wählen. Wie bereits in Kapitel 3.3 angenommen, wird vor allem der Umgang mit Fehlern als ein relativ stabiles, „trait-artiges“ Konstrukt gesehen, das sich

über die Zeit wenig verändert. Bei Schüler*innen der Sekundarstufe I könnte sich bereits ein bestimmter Umgang mit Fehlern über die Schulzeit etabliert und eventuell gefestigt haben. Darum könnte es sein, dass die gewählte Intervention, welche das Ziel verfolgte, das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten sowie deren Umgang mit Fehlern in eine positive Richtung zu beeinflussen, keine Wirkung zeigte. Möglicherweise hätte die Intervention bei jüngeren Schüler*innen, bei denen sich der Umgang mit Fehlern noch nicht so stark durch die Schule prägte und noch nicht über die Schuljahre gefestigt wurde, erfolgreicher sein können (vgl. z. B. Hascher & Hagenauer, 2010; Spychiger et al., 2006).

In Bezug auf die Intervention gibt es ebenfalls unterschiedliche Limitationen zu beachten. Die Intervention mit einer Dauer von einem Tag war kurz. Zukünftige Interventionen sollten verlängert werden, um mögliche Effekte auf den Umgang mit Fehlern zu erzielen. Zudem wurde lediglich der Umgang mit Fehlern explizit thematisiert. Neben der expliziten Thematisierung von Fehlern sollen auch deren Diskussion und Reflexion ermöglicht werden. Darüber hinaus sollten die Fehler auch im Bereich von NOS reflektiert werden (McComas et al., 2020).

Beim gewählten Design ist eine zentrale Limitation, dass die zwei Monate Regelunterricht zwischen Posttest und Follow-up-Test bzw. Interviews nicht kontrolliert wurden und somit keine verlässlichen Aussagen dazu gemacht werden können, ob die Lehrpersonen sowohl NOS als auch den Umgang mit Fehlern nach dem Workshop thematisierten. Obwohl diese Limitation die externe Validität beeinflusst, spiegelt es die Realität wider, wenn eine Lehrperson mit ihrer Klasse einen Workshop im *Smartfeld* besucht, denn den Lehrpersonen werden nach dem Workshop weder Inhalte noch Arbeitsmaterialien zur Nachbereitung mitgegeben.

Limitationen ergaben sich auch in Bezug auf die Erhebungsinstrumente, vor allem in Bezug auf den Fragebogen bzw. die Skalen zum Verständnis von NOS-Aspekten. Es konnte nicht auf etablierte Skalen zurückgegriffen werden, sondern die Items zu den NOS-Aspekten wurden aus verschiedenen Instrumenten gewählt und mussten angepasst oder neu erstellt werden. Die sechs bei der Haupterhebung eingesetzten NOS-Skalen *NOS_Met_A*, *NOS_Met_E*, *NOS_W*, *NOS_Exp*,

NOS_Subj_K und *NOS_Kult_W* wiesen bei der Reliabilitätsprüfung von Pre, Post- und Follow-up-Test mehrheitlich zufriedenstellende Cronbachs Alpha-Werte ($\alpha \geq .70$), aber auch einige zu tiefe Werte auf (vgl. Bühner, 2011). Daher wurden die Skalen zur Verbesserung der Reliabilität neu zusammengesetzt. Die neuen Skalen ließen sich aber nicht alle unter dem Konstrukt NOS abbilden. Daher mussten wiederum Skalen ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 5.3.1). Die verwendeten Skalen bilden dadurch nur einen Teil von NOS ab, wodurch die Frage nach der Inhaltsvalidität aufkommt (Döring & Bortz, 2016).

Auch in Bezug auf den qualitativen Teil ergeben sich Limitationen. Die Auswahl der Schüler*innen für die Interviews erfolgte nicht zufällig, da sich die Schüler*innen für die Interviews freiwillig meldeten. Wünschenswert wäre gewesen, wenn jeweils vier Schüler*innen aus einer Klasse am Interview hätten teilnehmen können. Die Lehrpersonen wollten jedoch keine Schüler*innen bestimmen und haben daher nach Freiwilligen gesucht. Aus diesem Grund haben sich in den Klassen unterschiedlich viele Schüler*innen freiwillig gemeldet. Pro Klasse nahmen zwei bis fünf Schüler*innen an den Interviews teil. Insgesamt waren dies 28 Schüler*innen aus neun Klassen. Dabei waren 16 Schüler*innen aus sechs Klassen in der Interventionsgruppe und 12 Schüler*innen aus drei Klassen in der Kontrollgruppe. Der Vorteil bei diesem Vorgehen war, dass alle Eltern das Einverständnis für das Interview gaben. Der Nachteil war, dass dadurch ein Selection Bias entstand (Döring & Bortz, 2016). So wird vermutet, dass bei den Interviews vor allem interessierte und engagierte Schüler*innen teilgenommen haben bzw. Schüler*innen, welche den Workshop im *Smartfeld* als positiv erlebten, während bei den Fragebögen alle Schüler*innen aus den Klassen verpflichtet wurden.

Im Kapitel 7 wurden die Hypothesen der quantitativen Fragestellungen (F2, F3.1, F3.2, F4.1, F4.2 und F5) und die Ergebnisse der qualitativen Fragestellungen (F6.1 und F6.2) einzeln diskutiert und die Limitationen der Studie wurden erläutert. Es stellt sich nun die Frage, wie die Ergebnisse der quantitativen Studie mit den Ergebnissen der qualitativen Studie zusammenhängen. Im nachfolgenden Kapitel 8 werden die Er-

gebnisse der qualitativen Studie den Ergebnissen aus der quantitativen Studie beigezogen, um Fehler im Erkenntnisgewinnungsprozess besser zu kontextualisieren. Aufgrund der Verknüpfung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse können gemeinsame Schlussfolgerungen (Metainferenzen) formuliert werden (Hagenauer & Gläser-Zikuda, 2018; Tashakkori & Teddlie, 2008).

8 Schlussfolgerungen und Metainferenzen

Fehler gehören zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Diese Fehler ermöglichen ein besseres Verständnis, wie eine naturwissenschaftliche Tatsache entsteht. Somit gehören Fehler zum Prozess der Wissenskonstruktion. Ob die Fehler aber in der Wissenskonstruktion positiv genutzt werden können, das heißt, ob sie lernförderlich sind, hängt vom Umgang mit diesen ab. Wenn Fehler als Lerngelegenheit angesehen werden (Fehlerlernorientierung), keine zu große Angst vor Fehlern bzw. dem Fehlermachen besteht (Fehlerangst) (Spychiger et al., 2006) und trotz eines Fehlers die Lernfreude und Lernmotivation aufrechterhalten und die negativen Emotionen reguliert werden können (affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler) (Dresel et al., 2013), dann können Fehler lernförderlich sein. Dass Fehler lernförderlich sind, heißt nicht, dass man durch diese immer zur richtigen Lösung gelangt. Auch das Wissen, wie etwas nicht funktioniert oder etwas nicht sein sollte (negatives Wissen), ist lehrreich, denn dieses hilft, das Falsche zukünftig zu vermeiden (Oser et al., 1999). Nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern auch im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht ist es wichtig, dass eine positive Fehlerkultur gelebt wird und Schüler*innen konstruktiv mit ihren Fehlern umgehen, um aus ihren Fehlern lernen zu können. Fehler stellen nicht nur eine gute Lernmöglichkeit dar, naturwissenschaftliche Inhalte zu lernen, sondern bieten auch die Gelegenheit, sich mit dem Wesen der Naturwissenschaften auseinanderzusetzen (z. B. Allchin, 2012). Dies ist ein zentrales Ziel des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts, der die Schüler*innen zu naturwissenschaftlich gebildeten Bürger*innen ausbilden soll, die sich mit ihrer Lebenswelt auseinandersetzen (Gräber & Nentwig, 2002). Daher sollten auch die Bedeutung und Stellung der Fehler in den Naturwissenschaften thematisiert sowie ein positiver Umgang mit Fehlern gefördert werden. Allchin (1995, 1999, 2000a, 2000b, 2001, 2003, 2004, 2009, 2011, 2012) hob mit seiner Arbeit die Bedeutung der Fehler als Aspekt von NOS hervor und machte Vorschläge zur Integration der Thematik in Lehr- und Lernprozessen. Dennoch wird den Fehlern im

Bereich NOS noch immer zu wenig Bedeutung beigemessen. Auch die fachdidaktische empirische Forschung hat der Frage des Umgangs mit Fehlern bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Vor dem Hintergrund dieser Problematik wurden in dieser Arbeit erste empirische Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses mit dem Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I im spezifischen Kontext des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts geliefert.

Die Ergebnisse des Fragebogens deuten darauf hin, dass die Schüler*innen in dieser Studie eine eher positive Fehlerlernorientierung und auch eher positive affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler haben. Die eher positiven Mittelwerte bei der Fehlerlernorientierung und bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler decken sich mit den Ergebnissen aus der Interviewfrage zum Bereich (6) des Umgangs als Wissenschaftler*in mit Fehlern, wo fast alle Schüler*innen erklärten, dass sie als Wissenschaftler*innen positiv mit Fehlern umgehen würden. Sie beschrieben dabei, mit Ausnahme einer Person, einen positiven kognitiven sowie behavioralen Umgang mit Fehlern. Dies deckt sich mit den eher positiven Mittelwerten der Fehlerlernorientierung, wobei sich die Fehlerlernorientierung auf die Schüler*innen selbst und der beschriebene Umgang mit Fehlern in den Interviews auf die Schüler*innen als Wissenschaftler*innen bezieht.

Analog dazu können die Ergebnisse in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler betrachtet werden. Wie im Kapitel 2.6.2 dargestellt, adressiert die Skala *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* die „Aufrechterhaltung von Lernfreude und Lernmotivation sowie die Regulation negativer Emotionen und damit verbundener motivationsrelevanter Kognitionen (z. B. aufgabenirrelevante Gedanken, Selbstzweifel)“ (Dresel et al., 2013, S. 256). In den Interviews wurden wenige Aussagen im affektiv-motivationalen Bereich in Bezug auf den Umgang als Wissenschaftler*innen mit Fehlern gemacht. Jedoch zeigten diese, dass auch nach einer Nennung von negativen Emotionen wie Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration oder Verzweiflung ein anschließend positiver Umgang mit Fehlern auf kognitiver oder

behavioraler Ebene beschrieben wurde. Anhand dieser Ergebnisse könnte angenommen werden, dass Schüler*innen keine großen Unterschiede zwischen ihren „Rollen“ als Schüler*innen und ihren „Rollen“ als Wissenschaftler*innen machen. Daraus könnte man schließen, dass dem Umgang mit Fehlern im Unterricht mehr Bedeutung beigemessen werden sollte, da Schüler*innen allem Anschein nach ihren stark vom schulischen Unterricht geprägten Umgang mit Fehlern auf zukünftige Situationen übertragen.

8.1 Einfluss des Verständnisses von NOS-Aspekten auf den Umgang mit Fehlern

Die quantitativen Befunde zur Forschungsfrage 2, inwiefern das Verständnis der Schüler*innen der Sekundarstufe I von NOS-Aspekten den Umgang mit Fehlern beeinflusst, haben gezeigt, dass das Verständnis von NOS-Aspekten einen Effekt auf die Fehlerlernorientierung hat. Was im Zusammenhang mit diesem quantitativen Ergebnis offenbleibt, ist die Frage, ob Fehler für die Schüler*innen zum Erkenntnisgewinnungsprozess gehören. Dies konnte mit den gewählten NOS-Skalen nicht ausreichend erhoben werden, da eine der drei Skalen Fehler nur teilweise impliziert (NOS_W) und Fehler nur in Bezug auf das Experimentieren konkret erwähnt wurden (NOS_Exp). Trotzdem lieferten die Ergebnisse der Interviews einige Antworten dazu. Da 12 von 28 interviewten Schüler*innen Fehler im Erkenntnisgewinnungsprozess direkt erwähnten bzw. Aussagen über das Falschmachen, Verbessern oder darüber machten, dass etwas anders gemacht werden muss, und 10 von den 28 interviewten Schüler*innen Fehler indirekt erwähnten, kann geschlossen werden, dass für die Mehrheit der interviewten Schüler*innen Fehler zum Erkenntnisgewinnungsprozess gehören. Nimmt man diese beiden Ergebnisse zusammen, so lässt sich schlussfolgern, dass ein adäquates Verständnis von NOS-Aspekten, in dem Fehler Teil des Erkenntnisgewinnungsprozesses sind, einen positiven Effekt auf die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen hat. Somit kann angenommen werden, dass Schüler*innen, für welche Fehler ein Teil des

Erkenntnisgewinnungsprozesses sind, Fehler eher als Lerngelegenheit wahrnehmen als Schüler*innen, für welche Fehler kein Teil des Erkenntnisgewinnungsprozesses sind.

Die Fehlerlernorientierung spielt nicht nur im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht eine zentrale Rolle, sondern in allen Schulfächern und ist eine Grundlage dafür, dass Schüler*innen Fehler kognitiv verarbeiten, um aus ihnen zu lernen und Wissen aufzubauen (Schumacher, 2008; Spychiger et al., 2006). Wie im Kapitel 2.2 dargestellt und in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, kann bei der Verarbeitung von Fehlern positives Wissen, das heißt Wissen, wie etwas ist oder sein sollte, oder negatives Wissen, das heißt Wissen, wie etwas nicht ist oder nicht sein sollte, entstehen (Oser et al., 1999). In Anlehnung an Schumacher (2008) ist das negative Wissen zu berücksichtigen, vor allem wenn es um das Verständnis von komplexen Zusammenhänge geht. So sollten Schüler*innen, die das Prinzip des Auftriebs und der Auftriebskraft verstanden haben, nicht nur erklären können, „warum ein Schiff aus Eisen im Wasser schwimmt, sondern auch, warum ein massives Eisenstück im Wasser untergeht“ (Schumacher, 2008, S. 50). Schumacher vergleicht das verstehende Lernen „mit dem Prozess der Theoriebildung in den Naturwissenschaften“: „Man bemüht sich in einem kontinuierlichen Korrektur- und Revisionsprozess, seine Hypothesen immer besser an die Beobachtungen anzupassen, indem man seine anfänglichen Vermutungen so lange verbessert oder durch neue ersetzt, bis sie schließlich die Wirklichkeit zutreffend darstellen“ (Schumacher, 2008, S. 50). So werden durch Fehler in Lernprozessen nicht nur falsche Vermutungen revidiert. Die Fehler helfen dabei, Gründe und Ursachen zu verstehen. Daher bieten Fehler wichtige Lerngelegenheiten, Wissen auf- oder auszubauen (Schumacher, 2008). Eigene Untersuchungen von Schmid et al. (2022) haben gezeigt, dass die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen einen Effekt auf deren intrinsische Motivation hat, welche gerade beim Lernen in der Schule einen wichtigen Stellenwert einnimmt. Dies bedeutet in Bezug auf diese Studie, dass Schüler*innen, welche Fehler als Lerngelegenheit wahrnehmen, eine hohe intrinsische Motivation haben, visuell zu programmieren.

Die Ergebnisse zeigten weiter, dass die Selbstwirksamkeitserwartung einen vermittelnden Effekt zwischen der Fehlerlernorientierung und der intrinsischen Motivation hat (Schmid et al., 2022). So hat die Fehlerlernorientierung als kognitive Komponente des Umgangs mit Fehlern sowohl einen wichtigen Stellenwert, dass Schüler*innen Fehler kognitiv verarbeiten, um aus ihnen zu lernen und Wissen aufzubauen (Schumacher, 2008; Spychiger et al., 2006), als auch einen Effekt darauf, dass die Schüler*innen intrinsisch motiviert sind zu lernen (Schmid et al., 2022).

Die quantitativen Befunde zur Forschungsfrage 2 haben neben dem Effekt des Verständnisses der Schüler*innen von NOS-Aspekten auf die Fehlerlernorientierung gezeigt, dass das Verständnis von NOS-Aspekten auch einen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler hat, wobei dieser Effekt verschwindet, wenn die Fehlerlernorientierung als Mediator aufgenommen wird. Somit fungiert die Fehlerlernorientierung als Mediator zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler. Die qualitativen Ergebnisse liefern eine mögliche Erklärung, warum es wichtig ist, die Fehlerlernorientierung beim Effekt des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zu berücksichtigen. Anhand der Schüler*innenantworten aus den Interviews zum Umgang mit Fehlern kann festgestellt werden, dass die Schüler*innen einen positiven kognitiven (Fehlerlernorientierung) und behavioralen Umgang mit Fehlern leben würden, wenn sie Wissenschaftler*innen wären. Außerdem wird aufgrund der Schüler*innenantworten angenommen, dass die Schüler*innen die Arbeitsfreude und Arbeitsmotivation aufrechterhalten sowie negative Emotionen regulieren können, wenn sie als Wissenschaftler*innen Fehler machen (affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler). An dieser Stelle muss jedoch beachtet werden, dass sich die Skalen *Fehlerlernorientierung* und *affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler* aus dem Fragebogen auf den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern beziehen, im Interview jedoch gefragt wurde, wie sie als Wissenschaftler*innen mit Fehlern umgehen würden. Da sich aber die eher positiven Mittelwerte bei der Fehlerlernorientierung und bei den affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler mit

den Ergebnissen des Bereichs (6) des Umgangs als Wissenschaftler*in mit Fehlern decken, wird angenommen, dass die Schüler*innen keine großen Unterschiede zwischen ihren „Rollen“ als Schüler*innen und ihren „Rollen“ als Wissenschaftler*innen machen. Die Antworten der interviewten Schüler*innen lassen erkennen, dass gerade Aussagen auf affektiv-motivationaler Ebene immer mit dem kognitiven und/oder behavioralen Umgang mit Fehlern verknüpft sind. Affektiv-motivationale Reaktionen wurden niemals einzeln beschrieben, der kognitive oder behaviorale Umgang mit Fehlern jedoch schon. Daher lässt sich aus den quantitativen und qualitativen Ergebnissen schlussfolgern, dass sowohl der kognitive als auch der behaviorale Umgang mit Fehlern bzw. die Fehlerlernorientierung als Aspekt des kognitiven Umgangs mit Fehlern eine wichtige Rolle im Kontext des Effekts des Verständnisses von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler spielen.

Die emotionalen Reaktionen, die mit dem Fehlermachen einhergehen können, sollten im Rahmen einer positiven Fehlerkultur und eines konstruktiven Umgangs mit Fehlern im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht mitberücksichtigt werden, denn Emotionen können einen Einfluss auf das Lernen aus Fehlern und das Lernen allgemein haben (Dresel et al., 2013; Oser & Spychiger, 2005; Spychiger et al., 2006). Nach Dresel et al. (2013) reagieren Schüler*innen häufig maladaptiv, wenn sich ihre Emotionen und die Motivation nach Fehlern verschlechtern. Trotz dieser Erkenntnis sollte es nicht das Ziel sein, negative Emotionen nach einem Fehler gänzlich zu verhindern. Nach Untersuchungen von Spychiger et al. (2006) kann sich ein gewisses Ausmaß an negativen Emotionen positiv auf die Weiterarbeit auswirken, beispielsweise kann die Anstrengungsbereitschaft zum Finden der richtigen Lösung gefördert werden. Indikatoren dafür, dass Fehler ernst genommen werden, sind Angst oder Scham, denn die Schüler*innen, die Angst und Scham empfinden, wollen kein weiteres Mal in diese unangenehme Gefühlslage geraten und versuchen daher, ihre Leistung zu steigern, um den Fehler nicht noch einmal zu machen. Stark ausgeprägte negative Emotionen, vor allem große Angst, wirken sich dagegen lernhinderlich aus und können zu einem Leistungszusammenbruch führen (Spychiger et

al., 2006). Spychiger et al. (2006) konnten zudem feststellen, dass Schüler*innen, welche keine Angst vor Fehlern haben, diese auch eher nicht als Lerngelegenheit ansehen. So wird, wie im Kapitel 2.6.2 beschrieben, von Spychiger et al. (2006) angenommen, dass den Schüler*innen Fehler gleichgültig sind oder sie dem Fehlergeschehen zu wenig Aufmerksamkeit schenken, wenn sie keine negativen Emotionen empfinden. Daher nehmen sie an, dass sich ein gewisses Ausmaß an negativen Emotionen positiv auf den Umgang der Schüler*innen mit Fehlern auswirkt (Spychiger et al., 2006). So sollte im Unterricht, in dem eine positive Fehlerkultur gelebt wird, nicht nur darauf geachtet werden, dass keine zu negativen Emotionen in Bezug auf Fehler bzw. das Fehlermachen vorherrschen, sondern auch darauf, dass keine Gleichgültigkeit gegenüber Fehlern besteht (Spychiger et al., 2006). Das Ziel wäre, dass die Schüler*innen im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht trotz eines Fehlers die Lernfreude und Lernmotivation aufrechterhalten und sie die negativen Emotionen regulieren können (affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler) (Dresel et al., 2013).

8.2 Wirkung der Intervention auf den Umgang mit Fehlern sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten

Die quantitativen Ergebnisse haben gezeigt, dass die Intervention keine Effekte auf die Fehlerlernorientierung, die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie das Verständnis von NOS-Aspekten direkt nach der Intervention hatte. Jedoch konnte festgestellt werden, dass es zwei Monate nach der Intervention einen Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie auf das Verständnis von NOS-Aspekten gab. Dieser Unterschied resultiert aber nicht daraus, dass die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe zwei Monate nach der Intervention positivere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler bzw. ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten, sondern daraus, dass die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe zwei Monate nach der Intervention negativere affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler bzw. ein

weniger adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als direkt nach der Intervention. Bei den Schüler*innen aus der Interventionsgruppe haben sich die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie das Verständnis von NOS-Aspekten nicht signifikant verändert. In Bezug auf die Fehlerlernorientierung konnte auch zwei Monate nach der Intervention kein Unterschied zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe festgestellt werden.

Wie in den Kapiteln 7.2 und 7.3 bereits diskutiert, sind unterschiedliche Gründe denkbar, warum die Intervention keine Wirkung zeigte. Es könnte sein, dass die Intervention zu kurz oder nicht passend war, um die Fehlerlernorientierung, die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie das Verständnis von NOS-Aspekten zu beeinflussen. Dies wäre in Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten eine plausible Erklärung, da lediglich der Umgang mit Fehlern explizit thematisiert wurde und die Schüler*innen Fehler möglicherweise nicht als NOS-Aspekte ansahen oder die Übertragung auf die NOS-Skalen für sie zu schwer war. Unter Einbezug der qualitativen Ergebnisse kann der ersten Annahme, dass Schüler*innen Fehler nicht als NOS-Aspekte sehen, eher widersprochen werden, denn die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass für die Mehrheit der Schüler*innen Fehler entweder direkt oder indirekt zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess gehören. Das würde eher dafür sprechen, dass den Schüler:innen die Übertragung auf die NOS-Skalen Schwierigkeiten bereitete, da die in den Skalen vorkommenden NOS-Aspekte lediglich in den Videos zu den Fehlern von Naturwissenschaftlern und deren Einstellungen zu Fehlern vorgekommen sind und diese damit nur implizit behandelt wurden.

Jedoch könnten auch Kontextvariablen wie die Workshopleitenden oder der Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* an sich einen Effekt auf die gewählten Skalen gehabt haben (Theyßen, 2014). Wie jedoch im Kapitel 4.2.2 dargestellt, wurden die Kursleitenden für die Kontroll- bzw. Interventionsgruppe spezifisch ausgebildet. Daher sollte der Einfluss durch die Workshopleitenden bestmöglich kontrolliert gewesen sein. Dass der Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* an sich oder das Schüler*innenlabor *Smartfeld* einen

Effekt auf die Skalen gehabt haben könnte, wird an dieser Stelle auch ausgeschlossen, da sich die Mittelwerte der Kontrollgruppe in Bezug auf die gewählten Skalen nicht verändert haben. Hätten sich diese signifikant erhöht, dann hätte angenommen werden müssen, dass das Fehlermachen im Workshop, das Lösen von Debugging-Aufgaben oder der neue Lernraum *Smartfeld* bereits einen Effekt auf die Variablen hatten.

Warum der Mittelwert der Kontrollgruppe sowohl in Bezug auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler als auch in Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention gesunken ist, kann nur gemutmaßt werden. Da der Unterricht zwischen dem Besuch des Workshops und dem Follow-up-Test nicht kontrolliert wurde bzw. nicht kontrolliert werden konnte, scheint es am naheliegendsten, dass der Unterricht einen Effekt auf die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler*innen auf Fehler und deren Verständnis von NOS-Aspekten hatte. Damit die Schüler*innen von der Arbeit mit Fehlern im Lernprozess profitieren können, sollten die Lehrpersonen fehlerfreundlich sein, die Normen bekanntgeben, Lernsettings schaffen, in welchen dem Verbessern von Fehlern Zeit eingeräumt wird, und auch die Mitschüler*innen sollten einen positiven Umgang mit Fehlern leben und fehlerfreundlich sein (Hascher & Hagenauer, 2010; Oser et al., 1999; Spychiger et al., 2006). So wäre zu vermuten, dass die Schüler*innen unter Berücksichtigung dieser Aspekte von der Arbeit mit Fehlern im Lernprozess profitiert hätten. In Bezug auf das Verständnis von NOS-Aspekten kann somit angenommen werden, dass sich durch eine adäquate Vermittlung von Fehlern im Bereich NOS durch die Lehrperson, also die Thematisierung von Bedeutung und Stellung von Fehlern sowie deren explizite Behandlung, Reflexion und Kontextualisierung, das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten nicht verschlechtert hätte (Allchin, 2012; McComas et al., 2020).

Unter Einbezug der qualitativen Daten kann kein ausreichender Kontext zu den quantitativen Ergebnissen geliefert werden, da bei den Interviews drei Monate nach der Intervention kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Verständnis von Fehlern in der Erkenntnisgewinnung zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe festgestellt werden

konnte, denn obwohl die Schüler*innen der Interventionsgruppe im Durchschnitt einen etwas höheren Wert (7.75) als die Schüler*innen aus der Kontrollgruppe (mit einem durchschnittlichen Wert von 7.2) erreichten, zeigte sich dieser Unterschied nach dem Mann-Whitney-*U*-Test nicht signifikant ($U = 88.00$, $Z = -.376$, $p = .732$). Nach Cohen (1992) wies die Effektstärke von $r = -0.07$ auf keinen Effekt hin. Jedoch kann angenommen werden, dass dieser Unterschied mit einer größeren Stichprobe signifikant werden könnte, wobei dann die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe eine adäquatere Vorstellung hätten als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe.

8.3 Stabilität des Verständnisses von NOS-Aspekten und des Umgangs mit Fehlern sowie wechselseitige Wirkung der beiden Variablen über die Zeit

Das ARM zeigt, dass die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen über die drei Zeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) weniger rangstabil war als deren Verständnis von NOS-Aspekten. Während sich das Verständnis der Schüler*innen von NOS-Aspekten sowohl über die Zeitpunkte t_1 und t_2 sowie über t_2 und t_3 stark rangstabil zeigte, zeigte sich die Fehlerlernorientierung zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 etwas weniger stabil, zwischen den Zeitpunkten t_2 und t_3 nicht mehr stabil. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fehlerlernorientierung zu t_3 stärker von der Fehlerlernorientierung zu t_1 abhing als von der Fehlerlernorientierung zu t_2 . Im Kapitel 7.4 wurde die Vermutung geäußert, dass die Schüler*innen durch die zwei Monate Regelunterricht nach dem Workshop bezüglich ihrer Fehlerlernorientierung wieder ihre Rangordnung wie direkt vor dem Workshop eingenommen haben. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass eine Veränderung in der Rangordnung unabhängig von einer Veränderung des Stichprobenmittelwerts ist (Kleinke et al., 2017, S. 112). Da nicht kontrolliert wurde, was nach der Intervention im Unterricht gemacht wurde, kann diese Vermutung weder bestätigt noch widerlegt werden. Jedoch liefern die Antworten der interviewten Schü-

ler*innen in der Ausstiegsphase zur Frage, ob die Lehrpersonen nach dem Workshop noch etwas zum Thema Fehler im Unterricht gemacht haben, bestätigende Argumente für die Vermutung. Alle interviewten Schüler*innen beantworteten diese Frage mit nein und führten aus, dass das Thema Fehler im Unterricht nicht mehr thematisiert wurde. Dies bekräftigt die Vermutung, dass die Fehlerlernorientierung der Schüler*innen wieder in ihr altes Muster verfällt, wenn im Unterricht dieselbe Fehlerkultur weitergelebt wird wie vor dem Workshop.

Der Hinzuziehung der Kontrollvariable *Intervention* zeigt, dass die Intervention das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt zwei Monate nach der Intervention beeinflusste. Der Effekt der Intervention, dass Schüler*innen aus der Experimentalgruppe zwei Monate nach dem Workshop ein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, konnte bereits mit der Hypothese 4.2.1 bestätigt werden. Unter Hinzuziehung der Hypothese 4.2.1 kann präzisiert werden, dass Schüler*innen aus der Interventionsgruppe kein adäquateres Verständnis von NOS-Aspekten hatten als Schüler*innen aus der Kontrollgruppe, sondern dass der Mittelwert bei der Interventionsgruppe stabil geblieben ist, der Mittelwert bei der Kontrollgruppe hingegen gesunken ist. Daher resultiert das signifikante Ergebnis nicht daraus, dass das Verständnis der Schüler*innen aus der Interventionsgruppe zu NOS-Aspekten adäquater wurde, sondern daraus, dass sich das Verständnis der Schüler*innen aus der Kontrollgruppe in eine weniger adäquate Richtung veränderte.

Zusammenfassend und unter Hinzuziehung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass sich kein durchschlagender Erfolg bei der Förderung der Fehlerlernorientierung oder des Verständnisses von NOS-Aspekten durch die durchgeführte Intervention zeigen ließ. Es wird angenommen, dass sowohl der Umgang mit Fehlern als auch das Verständnis von NOS-Aspekten nach McComas et al. (2020) explizit, reflektiert und kontextualisiert gefördert werden müsste. Bei der durchgeführten Intervention wurde jedoch nur der Umgang mit Fehlern kontextualisiert und explizit gefördert, die Reflexion fehlte ganz. Es wird angenommen, dass die Reflexion dazu bei-

getragen hätte, positive Effekte in Bezug auf die untersuchten Variablen zu erzielen.

Neben der Frage, inwiefern sich sowohl die Fehlerlernorientierung als auch das Verständnis von NOS-Aspekten über die drei Messzeitpunkte direkt vor der Intervention (t_1), direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) stabil zeigen, war auch von Interesse, welche wechselseitigen Wirkungen zwischen diesen Variablen über die Zeit festgestellt werden können. Die Ergebnisse in Bezug auf die kreuzverzögerten Pfade waren heterogen. Es konnten keine kreuzverzögerten Effekte zwischen hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. Dies bedeutet, dass das Verständnis von NOS-Aspekten zu einem früheren Messzeitpunkt die Fehlerlernorientierung zu einem späteren Messzeitpunkt nicht statistisch bedeutsam vorhersagt. Jedoch konnten einige kreuzverzögerte Effekte zwischen hohen Werten bei der Fehlerlernorientierung zu einem früheren Zeitpunkt mit hohen Werten beim Verständnis von NOS-Aspekten zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden. Es wurden ein positiver Zusammenhang zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen vor der Intervention mit deren Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention und ein negativer Zusammenhang zwischen der Fehlerlernorientierung der Schüler*innen nach der Intervention und dem Verständnis von NOS-Aspekten zwei Monate nach der Intervention festgestellt. Diese heterogenen Ergebnisse sind schwer zu deuten, ein Versuch wurde im Kapitel 7.4 unternommen. Die qualitativen Ergebnisse tragen nicht dazu bei, dieses Ergebnis besser zu verstehen. In Bezug auf das ARM wäre es sinnvoll, das Modell mit einer größeren Stichprobe neu zu rechnen, denn, wie im Kapitel 7.6 bereits dargestellt, die Ergebnisse von komplexeren Modellen sind umso unsicherer, je kleiner dabei die Stichprobe ist (z. B. Rosseel, 2020). Eventuell wäre es auch sinnvoll, das Modell unterteilt neu zu rechnen. Damit ist gemeint, dass ein Modell mit den Zeitpunkten direkt vor der Intervention (t_1) und direkt nach der Intervention (t_2) sowie ein Modell mit den Zeitpunkten direkt nach der Intervention (t_2) und zwei Monate nach der Intervention (t_3) separat analysiert werden könnten.

9 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Bedeutung und Stellung der Fehler in unserem Verständnis des Wesens der Naturwissenschaften herausgearbeitet, erste empirische Erkenntnisse zum Zusammenhang des NOS-Verständnisses von Schüler*innen der Sekundarstufe I und deren Umgang mit Fehlern wurden geliefert. Alle quantitativen und qualitativen Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass einem adäquaten Verständnis von NOS-Aspekten wie auch dem Umgang mit Fehlern mehr Beachtung beigemessen werden sollte. Im Rahmen einer positiven Fehlerkultur im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht sollte nicht nur darauf geachtet werden, dass die Schüler*innen Fehler als Lerngelegenheiten sehen (Fehlerlernorientierung) und sie keine zu große Angst vor Fehlern bzw. dem Fehlermachen haben (Spychiger et al., 2006), sondern auch, dass sie trotz eines Fehlers die Lernfreude und Lernmotivation aufrechterhalten und sie die negativen Emotionen regulieren können (affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler) (Dresel et al., 2013). Dabei sollte auch der Selbstwirksamkeitserwartung Beachtung geschenkt werden, denn diese hat einen vermittelnden Effekt zwischen der Fehlerlernorientierung und der intrinsischen Motivation, welche gerade beim Lernen in der Schule einen wichtigen Stellenwert einnimmt (Schmid et al., 2022). Damit Schüler*innen einen positiven Umgang mit Fehlern im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht leben können, soll das Lernpotenzial des Fehlers im Fokus stehen und dieses „durch einen konstruktiven und lernförderlichen Umgang angegangen werden“ (Spychiger et al., 2006, S. 88). Digital-basierte Lernprozesse bieten geeignete Rahmenbedingungen, eine positive Fehlerkultur zu leben und einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern, da in diesen Lernsettings viele Fehler gemacht werden. Die Fehler bzw. die Konsequenzen der Fehler werden aber sofort sichtbar, wodurch Schüler*innen ihre Lösung nicht erst mit einer Musterlösung vergleichen müssen. Zudem können sie eine bedeutende Methode der Erkenntnisgewinnung, die Trial-and-Error-Methode, meist ohne Gefahr anwenden und mit Debugging-Aufgaben aus den Fehlern von anderen lernen,

was oft motivierender für Schüler*innen ist, die viele Fehler machen (Michaeli & Romeike, 2019; Perscheid et al., 2016; Schmid et al., 2022; Schumacher, 2008). Da Fehler Bestandteile der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung sind und ein besseres Verständnis ermöglichen, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht, ist es im Rahmen des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts zudem zentral, Fehler als integrale Bestandteile von NOS zu vermitteln. Werden Fehler im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht thematisiert, sollten diese nach den drei Kriterien für gute NOS-Aufgaben von McComas et al. (2020) explizit, kontextualisiert und reflexiv behandelt werden. Gerade die Naturwissenschaftsgeschichte hält viele Beispiele von Fehlern, Fehlschlägen und Irrtümern bereit. Anhand dieser kann aufgezeigt werden, dass selbst die besten Naturwissenschaftler*innen Fehler machten, wie diese passierten, wie diese behoben wurden und welche Konsequenzen diese auf das naturwissenschaftliche Wissen hatten (Allchin, 2012). Zudem sollten unterschiedliche Fehlertypen behandelt werden, die im MINT-Bereich auftreten können. Das Wissen über Fehlertypen hilft dabei, mögliche Fehler zu finden und damit auf die Fehlerursache zu schließen, um den Fehler zu verbessern (Prediger & Wittmann, 2009). Durch Fehler kann gelernt werden, wie etwas sein sollte (positives Wissen), und auch, wie etwas nicht sein sollte oder was nicht gemacht werden sollte (negatives Wissen). Das negative Wissen „hilft nicht zwingend, das Richtige zu tun aber es hilft, das Falsche zu vermeiden“ (Oser et al., 1999, S. 18). Je größer das Wissen ist, wie etwas nicht sein sollte bzw. nicht funktioniert, desto sicherer ist das richtige Handeln. Fehler stellen nicht nur eine gute Lernmöglichkeit dar, naturwissenschaftliche Inhalte zu lernen, sondern bieten auch die Gelegenheit, sich mit dem Wesen der Naturwissenschaften auseinanderzusetzen.

Schüler*innen auf dem Weg zu begleiten, ein adäquates Verständnis von NOS auszubilden, in dem speziell auch die Bedeutung und Stellung der Fehler ihren Platz finden, ist ein zentrales Ziel, um die Schüler*innen zu naturwissenschaftlich gebildeten Bürger*innen auszubilden, die sich mit ihrer Lebenswelt auseinandersetzen (Allchin, 2004; Gräber & Nentwig, 2002), denn mit dem Wissen um die Bedeutung und

Stellung der Fehler in den Naturwissenschaften können Schüler*innen „die Zuverlässigkeit und Tragweite wissenschaftlicher Behauptungen beurteilen, die Tragweite dieser Behauptungen erkennen und persönliche und öffentliche Entscheidungen treffen“ (Allchin, 2004, S. 1). Daher sollte zukünftig die Notwendigkeit bestehen, die Schüler*innen im Rahmen der naturwissenschaftlich-technischen Grundbildung auch über die Bedeutung und Stellung der Fehler in den Naturwissenschaften zu unterrichten, damit diese ein adäquates Verständnis von NOS entwickeln können.

Der Frage, der nachgegangen werden sollte, ist die nach der Notwendigkeit empirischer Arbeiten, welche dazu beitragen, den Zusammenhang zwischen dem Verständnis von NOS-Aspekten und dem Umgang mit Fehlern besser zu verstehen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, wie Lehrpersonen auf dem Weg unterstützt werden können, damit sie ihren Schüler*innen im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht ein adäquates Verständnis von NOS vermitteln können. Entscheidend dafür, weitere Fragestellungen zu untersuchen, sind valide und vergleichbare Messinstrumente. Zum Umgang mit Fehlern gibt es bereits geprüfte Instrumente wie die in dieser Studie verwendeten Schüler*innenfragebögen von Spychiger et al. (2006) und Dresel et al. (2013). Die Validität und Vergleichbarkeit wurde in dieser Studie beeinflusst (Fehlerlernorientierung und affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler) oder beeinträchtigt (Fehlerangst), da die Items der Skalen aufgrund der Interventionsstudie am außerschulischen Lernort *Smartfeld* angepasst werden mussten. Dies führte beispielsweise dazu, dass die Skala *Fehlerangst* von Spychiger et al. (2006) nicht mehr reliabel war. Daher könnte ein Forschungsansatz darin bestehen, eine Skala zur Messung der Fehlerangst zu erstellen, die sowohl im schulischen Kontext mit der Lehrperson als auch im außerschulischen Kontext mit Fachpersonen verwendet werden kann.

Auch im Bereich von NOS sollte angestrebt werden, valide und vergleichbare Messinstrumente zu erstellen, denn obwohl es zur Erfassung des Verständnisses von NOS viele Messinstrumente gibt, sind diese häufig zu schwierig für Schüler*innen der Sekundarstufe I oder wei-

sen eine mangelnde Validität auf. Zudem besteht die Schwierigkeit, dass das Verständnis von NOS nicht vollständig erhoben werden kann. Dies erschwert eine Vergleichbarkeit zwischen empirischen Untersuchungen.

Es wäre zudem wünschenswert, ein Erhebungsinstrument oder eine Skala zu entwickeln, mit der konkret das Verständnis von Fehlern im Bereich NOS erhoben werden kann. Als Grundlage zur Erstellung von Items könnten die Ergebnisse aus den Interviews hinzugezogen und mit Items aus bestehenden Skalen, die die Bedeutung und Stellung der Fehler in den Naturwissenschaften implizieren oder fokussieren, ergänzt werden.

Wenn es valide und vergleichbare Erhebungsinstrumente gibt, könnten weitere Forschungen andere Aspekte hinzuziehen, um den Zusammenhang zwischen dem Verständnis von NOS und dem Umgang mit Fehlern besser zu verstehen. Dazu könnten beispielsweise andere Aspekte der CVTAE von Pekrun (2006) berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die Gestaltung der Lernumgebung. In diesem Zusammenhang wäre ein weiteres Ziel, eine Interventionsstudie zu planen, die das Verständnis von Fehlern im Bereich NOS fördert. Diese Unterrichtsideen könnten Lehrpersonen dabei unterstützen, passende Lerngelegenheiten zu schaffen, damit Schüler*innen ein adäquates Verständnis von NOS entwickeln und es ermöglichen, die oben genannte Absicht, naturwissenschaftlich gebildete Bürger*innen auszubilden, anzustreben.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die drei Dimensionen von Nature of Science, McComas (2015, S. 487).	22
Abbildung 2: Fehlertypen in den Naturwissenschaften nach Allchin (2001, S. 4) . .	28
Abbildung 3: Beispiel Auszug Lehrplan Volksschule (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326) nach Bildungsdepartement Kanton St.Gallen (2017, S. 22)	34
Abbildung 4: Zuordnung der Kompetenzstufen aus der Kompetenz NT.1.1 zum Modell nach McComas (2015, S. 487)	40
Abbildung 5: Experimentierprozess nach Metzger (2019, S. 23)	47
Abbildung 6: Fehlertypen Mathematik nach Prediger & Wittmann (2009)	74
Abbildung 7: Die Control-Value Theory of Achievement Emotions von Pekrun (2006, S. 328). Verortung der Variablen: untersuchte Variablen in dunkelgrauen Kästen und untersuchte Pfade in Schwarz.	87
Abbildung 8: Smart Shirt (Fotograf: Leo Boesinger)	113
Abbildung 9: Erstes Projekt, Aufgaben mit LEDs (Fotograf: Leo Boesinger)	113
Abbildung 10: Debugging-Aufgabe mit dem LED-Streifen (Fotograf: Leo Boesinger).	113
Abbildung 11: Flaggen für das Smart Shirt programmieren (Fotograf: Leo Boesinger, bearbeitet von Clemens Waibel)	114
Abbildung 12: Wettershirt (Fotograf: Leo Boesinger)	114
Abbildung 13: Forschungsdesign	120
Abbildung 14: Ablauf Interventionsstudie.	132
Abbildung 15: Konfirmatorische Faktoranalyse Konstrukt NOS.	220
Abbildung 16: Subfaktor NOS_A	220
Abbildung 17: Subfaktor NOS_B	220
Abbildung 18: Korrelation zwischen den beiden Subfaktoren NOS_A und NOS_B	222
Abbildung 19: Autoregressives Strukturgleichungsmodell für Fehlerlernorientierung unter Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten; der Übersichtlichkeit halber wurden die Kontrollvariablen Geschlecht, Alter, Niveau und Schulstufe nicht dargestellt.	245

Abbildung 20: Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016, S. 100); graue Bereiche: übersprungener Schritt (1) oder später beschriebener Schritt (7), schwarze Bereiche: durchgeführte Schritte, blaue Bereiche: zusätzlich durchgeführte Schritte248

Abbildung 21: Strukturgleichungsmodell zum Einfluss der Fehlerlernorientierung auf die intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren; alle Pfade signifikant: $p < 0.05$; standardisierte Schätzwerte (Schmid et al., 2022)260

Abbildung 22: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable Fehlerlernorientierung; ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; standardisierte Schätzwerte.262

Abbildung 23: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; standardisierte Schätzwerte264

Abbildung 24: Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängigen Variablen Fehlerlernorientierung und affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler; *** $p < 0.001$; standardisierte Schätzwerte.266

Abbildung 25: Teilweise latentes autoregressives Strukturgleichungs-Modell für Fehlerlernorientierung unter Berücksichtigung des Verständnisses von NOS-Aspekten; nur signifikante Pfade eingezeichnet; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$; standardisierte Schätzwerte278

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich NT.1 Wesen und Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik verstehen (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 326–327)	35
Tabelle 2: Fehlertypen im Unterricht (Astolfi, 2020, S. 126–127)	69
Tabelle 3: Kompetenzstufen aus dem Kompetenzbereich MI.2 Informatik (Bildungsdepartement Kanton St.Gallen, 2017, S. 512–513)	116
Tabelle 4: Übersicht Zuordnung von NOS-Aspekten in Bezug auf Deng et al. (2014), Harrison et al. (2015), Kremer (2010) & Shaakumeni und Csapó (2019) zu Fallbeispielen der Wissenschaftler Elon Musk, Thomas Alva Edison, Albert Einstein und Andrew Lyne	124
Tabelle 5: Definitive Items personenbezogene Angaben.	134
Tabelle 6: Definitive Items Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren, tw. adaptiert von Güdel (2014, S. 327–328).	135
Tabelle 7: Definitive Items Computerkompetenz, adaptiert von Karapanos und Fendler (2015, S. 44).	136
Tabelle 8: Definitive Items Computernutzung in der Freizeit, adaptiert von Karapanos und Fendler (2015, S. 44).	137
Tabelle 9: Definitive Items Selbstwirksamkeitserwartung zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit, adaptiert von Güdel (2014, S. 317)	138
Tabelle 10: Definitive Items intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit, adaptiert von Centre for Self-Determination Theory (o.J., S. 3)	138
Tabelle 11: Definitive Items Fehlerlernorientierung, adaptiert von Spychiger et al. (2006, S. 97)	139
Tabelle 12: Definitive Items Fehlerangst, adaptiert von Spychiger et al. (2006, S. 101).	140
Tabelle 13: Definitive Items affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler, adaptiert von Dresel et al. (2013, S. 260).	141
Tabelle 14: Definitive Items Skala wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden (NOS_Met_A), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342).	144
Tabelle 15: Definitive Items Skala wissenschaftliche Untersuchungen verwenden eine Vielzahl von Methoden (NOS_Met_E), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342).	144

Tabelle 16: Definitive Items Skala Wissen ist vorläufig, aber beständig (NOS_W), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)	145
Tabelle 17: Definitive Items Skala Fehlermachen beim Experimentieren (NOS_Exp), adaptiert von Kremer (2010, S. 162)	145
Tabelle 18: Definitive Items Skala Subjektivität (NOS_Subj_K), adaptiert von Harrison et al. (2015, S. 1342) und Shaakumeni und Csapó (2019, S. 41)	145
Tabelle 19: Definitive Items Skala Kulturelle Elemente der Wissenschaft (NOS_Kult_W), adaptiert von Deng et al. (2014, S. 850)	145
Tabelle 20: Definitive Items Skala positive Affekte im Smartfeld (Spaß, Flow), adaptiert von Brandt (2005, S. 312).	146
Tabelle 21: Definitive Items Skala Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien, adaptiert von Brandt (2005, S. 213–214).	147
Tabelle 22: Fallübersicht interviewte Schüler*innen	152
Tabelle 23: Anpassungen der Items der Skala Vorstellungen und Vorkenntnisse zum visuellen Programmieren.	159
Tabelle 24: Anpassungen der Items der Skala Computerkompetenz.	163
Tabelle 25: Anpassungen der Items der Skala Computernutzung in der Freizeit	164
Tabelle 26: Anpassungen der Items der Skala Selbstwirksamkeit zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit	166
Tabelle 27: Anpassungen der Items der Skala intrinsische Motivation zum visuellen Programmieren mit dem micro:bit	172
Tabelle 28: Anpassungen der Items der Skala Fehlerlernorientierung.	175
Tabelle 29: Anpassungen der Items der Skala Fehlerangst.	178
Tabelle 30: Anpassungen der Items der Skala affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler	182
Tabelle 31: Anpassungen der Items der Skala NOS_Met	186
Tabelle 32: Anpassungen der Items Skala NOS_W.	192
Tabelle 33: Anpassungen der Items der Skala NOS_Exp	197
Tabelle 34: Anpassungen der Items der Skala NOS_Subj	200
Tabelle 35: Anpassungen der Items der Skala NOS_Kult	205
Tabelle 36: Anpassungen der Items der Skala positive Affekte im Smartfeld	208
Tabelle 37: Anpassungen der Items der Skala Relevanz der Inhalte des Workshops Smarte Textilien.	211

Tabelle 38: Cronbachs Alpha der NOS-Skalen Pretest, Posttest, Follow-up-Test . . .	217
Tabelle 39: Explorative Faktorenanalyse mit allen NOS-Items	218
Tabelle 40: Ergebnisse Messinvarianzprüfung NOS_B über t_1 (Pretest) und t_2 (Posttest)	224
Tabelle 41: Ergebnisse Messinvarianzprüfung NOS_B über t_2 (Posttest) und t_3 (Follow-up-Test).	224
Tabelle 42: Werteverteilung der Skalen Fehlerlernorientierung, Fehlerangst, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten.	227
Tabelle 43: Übersicht Skalenwerte zu den drei Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 sowie Alter und Geschlecht	229
Tabelle 44: Korrelationen der Skalen Fehlerlernorientierung, affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler und Verständnis von NOS-Aspekten zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3	232
Tabelle 45: Mittelwertunterschiede der Skalen Fehlerlernorientierung und affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler	237
Tabelle 46: Mittelwertunterschiede der Skala Verständnis von NOS-Aspekten . . .	241
Tabelle 47: Vergleich Punktevergabe Quantifizierung t_1 (unterschiedliche Punktevergabe grau hinterlegt)	253
Tabelle 48: Übereinstimmungsmatrix t_1 (Raterin 1 = Autorin, Raterin 2 = Interraterin)	254
Tabelle 49: Vergleich Punktevergabe Quantifizierung t_2 (1^* = Missverständnis Punkteraster, 2^* = Fehler im Kategoriensystem, 3^* = Interraterin bepunktete falsch, 4^* = Autorin bepunktete falsch, 5^* Unstimmigkeiten)	256
Tabelle 50: Übereinstimmungsmatrix t_2 (Raterin 1 = Autorin, Raterin 2 = Interraterin)	257
Tabelle 51: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_2	269
Tabelle 52: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_2	270
Tabelle 53: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die Fehlerlernorientierung zum Zeitpunkt t_3	272
Tabelle 54: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler zum Zeitpunkt t_3	273
Tabelle 55: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_2	275

Tabelle 56: Regressionsanalyse zum Einfluss der Intervention auf das Verständnis von NOS-Aspekten zum Zeitpunkt t_3	276
Tabelle 57: Punktevergabe im Bereich (1) Fehler beim naturwissenschaftlichen Arbeiten und im Erkenntnisgewinnungsprozess nach Kontroll- und Interventionsgruppe	287
Tabelle 58: Punktevergabe im Bereich (2) Gründe für Fehler (Warum?) nach Kontroll- und Interventionsgruppe	290
Tabelle 59: Punktevergabe im Bereich (3) Momente im Prozess, in welchen Fehler passieren können (Wo?) nach Kontroll- und Interventionsgruppe	292
Tabelle 60: Punktevergabe im Bereich (4) Fehler beim Experimentieren nach Kontroll- und Interventionsgruppe	293
Tabelle 61: Punktevergabe im Bereich (5) Gründe für Entstehung von Beobachtungsfehlern nach Kontroll- und Interventionsgruppe	296
Tabelle 62: Punktevergabe im Bereich (6) Umgang der Schüler*innen als Wissenschaftler*innen mit Fehlern nach Kontroll- und Interventionsgruppe	299
Tabelle 63: Mittelwerte der sechs Bereiche des generellen Umgangs mit Fehlern nach Kontroll- und Interventionsgruppe	301
Tabelle 64: Fehlerermuntigungsdidaktik, angepasst an Oser & Spychiger (2005, S. 166).	379

12 Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F. (2006). Over and over and over a again: College students' views of nature of science. In V. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 389–425). Dodrecht: Science & Technology Education Library.
- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22, 2087–2107. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417–436. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199807\)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199807)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E)
- Aho, A. V., Sethi, R. & Ullman, J. D. (1999). *Compilerbau. Teil 1.* (2. durchges. Aufl.). Oldenbourg: Wissenschaftsverlag.
- Aikenhead, G. S. (1987). High-school graduates' beliefs about science-technology-society. III. Characteristics and limitations of scientific knowledge. *Science Education*, 71(4), 459–487. <https://doi.org/10.1002/sce.3730710402>
- Allchin, D. (1992). Phlogiston after oxygen. *Ambix*, 39, 110–116. <https://doi.org/10.1179/amb.1992.39.3.110>
- Allchin, D. (1995). How *not* to teach history in science. In F. Finley, D. Allchin, D. Rhees & S. Fifield (Hrsg.), *Proceedings, Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference* (S. 13–22).
- Allchin, D. (1999). Negative results as positive knowledge, and zeroing in on significant problems. *Marine Ecology Progress Series*, 191, 303–306. Abgerufen von <https://www.jstor.org/stable/24854620>
- Allchin, D. (2000a). The epistemology of error. *Philosophy of science association*, 1–17. Abgerufen von <http://douglasallchin.net/papers/epistof.pdf>
- Allchin, D. (2000b). *To err is science*. Paper presented at the AAAS, Washington DC.
- Allchin, D. (2001). Error types. *Perspectives on Science*, 9(1), 38–59. <https://doi.org/10.1162/10636140152947786>
- Allchin, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education*, 329–351. <https://doi.org/10.1002/sce.10055>
- Allchin, D. (2004). Error and the nature of science. *American Institute of Biological Sciences*.
- Allchin, D. (2009). Celebrating darwin's errors. How should we mark the darwin bicentennial? *The American Biology Teacher*, 71(2), 116–119. <https://doi.org/10.1662/005.071.0213>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Studies and Science Education*, 95(3), 518–542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904–926. <https://doi.org/10.1002/sce.21019>

- Althof, W. (1999). Vorwort. In *Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 8–10). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Anderson, R. D. (2010). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 807–830). New York: Routledge.
- Arndt, L., Billion-Kramer, T., Wilhelm, M. & Rehm, M. (2020). NOS-Modellierungen – Ein theoretischer Konflikt mit fehlernder empirischer Basis. *Progress in Science Education*, 3(1), 35–45. <https://doi.org/10.25321/prise.2020.994>
- Arndt, S. A. (2020). *F(r)u(r)chtbare Fehler? Prädiktoren für die Fehlerlernorientierung und die Fehlerangst im Mathematikunterricht – eine regressionsanalytische Betrachtung*. (Masterarbeit, FU Berlin). Abgerufen von <https://docplayer.org/201955162-F-r-u-r-chtbare-fehler.html> (29.11.2023)
- Astolfi, J.-P. (2020). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris: ESF sciences humaines.
- Bachelard, G. (2016). *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis*. (3. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2011). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. (13. überarbeitete Aufl.). Berlin: Springer.
- Bacon, F. (2017). *Neues Organon. Große Erneuerung der Wissenschaften*. Berlin: Hohenberg.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191>
- Baron, R. M. & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
- Bassow, H. (1991). Interdependency and the importance of errors in chemistry: How the search for a single error led to reexamination of the work of five Nobel Laureates and revised values for certain fundamental constants. *Journal of Chemical Education*, 68(4), 273–274. <https://doi.org/10.1021/ed068p273>
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., ... Weiß, M. (Hrsg.). (1999). *Internationales und nationales Rahmenkonzept für die Erfassung von naturwissenschaftlicher Grundbildung in PISA*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baur, A. (2021). Errors made by 5th-, 6th-, and 9th-graders when planning and performing experiments: results of video-based comparisons. *Zeitschrift für Didaktik Der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 25, 45–63. <https://doi.org/10.11576/zdb-3576>
- Beege, M., Schneider, S., Nebel, S., Zimm, J., Windisch, S. & Rey, G. D. (2021). Learning programming from erroneous worked-examples. Which type of error is beneficial for learning? *Learning and Instruction*, 75, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101497>

- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A. & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487–509. <https://doi.org/10.1002/tea.10086>
- Bialosiewicz, S., Murphy, K. & Berry, T. (2013). *An introduction to measurement invariance testing: resource packet for participants*. Washington, DC: Claremont Evaluation Center.
- Bildungsdepartement Kanton St.Gallen. (2017). *Lehrplan Volksschule*. Abgerufen von <https://sg.lehrplan.ch/> (29.11.2023)
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. (4. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2011). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. (7. Aufl.). Berlin: Springer.
- Brandt, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch ausserschulische Experimentierlabors*. Göttingen: Cuvillier.
- Bray, W. S. (2011). A collective case study of the influence of teachers' beliefs and knowledge on error-handling practices during class discussion of mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 42(1), 2–38. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.42.1.0002>
- Brennan, R. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient kappa: some uses, misuses, and alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3). <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>
- Buffler, A., Lubben, F. & Ibrahim, B. (2009). The relationship between students' views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. (2. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Byrne, B. M. (2011). *Structural Equation Modeling with Mplus*. New York: Routledge.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. & Unger, C. (2007). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(5), 514–529. <https://doi.org/10.1080/0950069890110504>
- Carifio, J. & Perla, R. J. (2007). Ten common misunderstandings, misconceptions, persistent myths and urban legends about likert scales and likert response formats and their antidotes. *Journal of Social Sciences*, 3(3), 106–116. <https://doi.org/10.3844/JSSP.2007.106.116>
- Carrier, R. (2001). Test your scientific literacy! Abgerufen von <https://infidels.org/library/modern/richard-carrier-scilit/> (29.11.2023)
- Centre for Self-Determination Theory. (o.J.). *Intrinsic motivation inventory (IMI)*. Abgerufen von <http://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/> (29.11.2023)

- Chai, C. S., Deng, F. & Tsai, C.-C. (2012). A comparison of scientific epistemological views between mainland China and Taiwan high school students. *Asia Pacific Education Review*, 13, 17–26. <https://doi.org/10.1007/s12564-011-9174-9>
- Clough, M. P. & Clark, R. L. (1994). Challenge your students with an authentic science experience: creative constructivism. *JSTOR*, 61(7), 47–49.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. (2. Aufl.). New York: Routledge.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Conant, J. B. (1957). The Overthrow of the Phlogiston Theory. In J. B. Conant & L. K. Nash (Hrsg.), *Harvard Case Histories in Experimental Science* (S. 67–115). Cambridge: Harvard University Press.
- Crawford, B. A. (2006). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613–642. <https://doi.org/10.1002/tea.20157>
- de Kruijf, P. (1928). *Mikroben Jäger*. Zürich: Orell Füssli.
- Demirdöğen, B. & Aydın-Günbatar, S. (2021). Teaching nature of science through the use of media reports on COVID-19. *Science Activities*, 58(3), 98–115. <https://doi.org/10.1080/00368121.2021.1957757>
- Deng, F., Chai, C. S., Tsai, C.-C. & Lin, T.-J. (2014). Assessing south china (guangzhou) high school students' views on nature of science: A validation study. *Science & Education*, 23, 843–963. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9674-6>
- Descartes, R. (1955). *Die Prinzipien der Philosophie* (5. Aufl.). Berlin: Lindemann & Lüddecke.
- Diener, C. I. & Dweck, C. S. (1980). An analysis of learned helplessness: II. The processing of success. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(5), 940–952. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.39.5.940>
- Dierks, P. O., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2014). Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 97–114. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.895712>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. (5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Dörn, S. (2019). *Java lernen in abgeschlossenen Lerneinheiten Programmieren für Einsteiger mit vielen Beispielen*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Downey, A. B. (2012). *Programmieren lernen mit Python. Einstieg in die Programmierung*. Beijing: O'Reilly.
- Dresel, M., Schober, B., Ziegler, A., Grassinger, R. & Steuer, G. (2013). Affektiv-motivationale adaptive und handlungsadaptive Reaktionen auf Fehler im Lernprozess. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 27(4), 255–271. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000111>
- Drews, G. (2010). *Mikrobiologie. Die Entdeckung der unsichtbaren Welt*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Dudenredaktion. (o. J.). *Vorstellung*. Abgerufen von <https://www.duden.de/rechtschreibung/Vorstellung> (29.11.2023)
- Dweck, C. S. & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95(2), 256–273. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.256>
- Edgerly, H. S., Kruse, J. W. & Wilcox, J. L. (2022). Quantitatively investigating inservice elementary teachers' nature of science viewss. *Research in Science Education*, 52, 1467–1480. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-09993-7>
- Edmonds, W. A. & Kennedy, T. D. (2017). *An Applied Guid to Research Designs. Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods*. (2. Aufl.). Los Angeles et al.: Sage.
- Eichelmann, A., Narciss, S., Schnaubert, L. & Melis, E. (2012). Typische Fehler bei der Addition und Subtraktion von Brüchen – Ein Review zu empirischen Fehleranalysen. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 33, 29–57. <https://doi.org/10.1007/s13138-011-0031-5>
- Erduran, S. (2022a). Trust in science and science education – Part 2. *Science & Education*, 31(6), 1425–1427. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00407-2>
- Erduran, S. (2022b). Trust in science and science education – Part 1. *Science & Education*, 31(6), 1101–1104. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00386-4>
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education.: Scientific knowledge, practices and other family categories*. New York: Springer.
- Escher, D. & Messner, H. (2015). *Lernen in der Schule. Ein Studienbuch*. (2. überarbeitete und erweiterte Aufl.). Bern: hep.
- Fischler, H., Gebhard, U. & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Grundbildung und *Scientific Literacy*. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer.
- Fleck, L. (Hrsg.) (2019). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv* (12. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Fleiss, J. L. & Cohen, J. (1973). The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 33, 613–619.
- Ford media center. (2020). Emoji jacket helps people to ‚Share the road‘ Abgerufen von <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2020/02/06/emoji-jacket-helps-people-to-share-the-road.html> (29.11.2023)
- Frensch, P. A. (1998). One concept, multiple meanings: on how to define the concept of implicit learning. In M. A. Stadler & P. A. Frensch (Hrsg.), *Handbook of implicit learning* (S. 47–104). Thousand Oaks: Sage.
- Frischherz, U. (2019). *Debugging-Checkliste für das Arbeiten mit Scratch 3.0*. Abgerufen von <https://www.zebis.ch/unterrichtsmaterial/debugging-checkliste-fuer-das-arbeiten-mit-scratch-30> (29.11.2023)

- Fuß, S. & Karbach, U. (2014). *Grundlagen der Transkription*. Opladen: Barbara Budrich.
- Gabriel, M. (2022). *Der Mensch als Tier. Warum wir trotzdem nicht in die Natur passen*. Berlin: Ullstein.
- Galili, I. (2022). A Refined Account of Nature of Science. In I. Galili (Hrsg.), *Scientific Knowledge as a Culture. Science: Philosophy, History and Educatio* (S. 373–427). Cham: Springer.
- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Geiser, C. (2010). *Datenanalyse mit Mplus. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Glazerman, S., Isenberg, E., Dolfin, S., Bleeker, M., Johnson, A., Grider, M. & Jacobus, M. (2010). Impacts of comprehensive teacher induction: Final results from a randomized controlled study. NCEE 2010-4027. Abgerufen von <https://eric.ed.gov/?id=ED565837> (29.11.2023)
- Gottfried, A. E., Fleming, J. S. & Gottfried, A. W. (2001). Continuity of academic intrinsic motivation from childhood through late adolescence: A longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 3–13. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.3>
- Götze, D., Selter, C. & Zannetin, E. (2019). *Das Kira-Buch: Kinder rechnen anders*. Hannover: Klett Kallmeyer.
- Gräber, W. & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy*. Opladen: Leske + Budrich.
- Güdel, K. (2014). *Technikaffinität von Mädchen und Jungen der Sekundarstufe I. Untersuchung von Technikinteresse, Selbstwirksamkeitserwartung, Geschlechterrollen und Berufswünschen*. (Dissertation, Universität Genf). Abgerufen von <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:41471> (29.11.2023)
- Hagenauer, G. & Gläser-Zikuda, M. (2018). Mixed Methods. In M. Haring, C. Rohlf & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Handbuch Schulpädagogik* (S. 801–812). Münster, New York: Waxmann.
- Hagner, M. (2001). *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte* Frankfurt am Main: Fischer.
- Hall, M. B. (2002). *Promoting Experimental Learning. Experiment and the Royal Society, 1660–1727*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hansson, L., Arvidsson, Å., Heering, P. & Pendrill, a. A.-M. (2019). Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach. *Physics Education*, 54(4), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab07e7>
- Harms, U. (2022). Paradigmenwechsel und Erkenntnisgewinnung. Wie biologische Theorien sich entwickeln. *Unterricht Biologie*, 46(477), 2–8.
- Harrison, G. M., Seraphin, K. D., Philippoff, J., Vallin, L. M. & Brandon, P. R. (2015). Comparing models of nature of science dimensionality based on the next generation science standards. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1321–1342. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035357>

- Hartmann, M., Edelsbrunner, P., Hielscher, M., Paparo, G., Honegger, B. D. & Marinus, E. (2022). Programming concepts and misconceptions in grade 5 and 6 children: Developing and testing a new assessment tool. *Die Entwicklung der Fachdidaktiken als wissenschaftliche Disziplinen in der Schweiz: Bilanz und Perspektiven Vorpublikation der 5. Tagung Fachdidaktiken*. Abgerufen von https://www.swissuniversities.ch/fileadmin/swissuniversities/Dokumente/Forschung/Fachdidaktik/Fachdidaktik_2022/2022_DFA_Vorpublikation_DEF_komp.pdf (19.11.2023)
- Hascher, T. & Hagenauer, G. (2010). Lernen aus Fehlern. In C. Spiel, B. Schober, P. Wagner & R. Reimann (Hrsg.), *Bildungspsychologie* (S. 377–381). Göttingen: Hogrefe.
- Haudel, M. (2021). *Theologie und Naturwissenschaft: Zur Überwindung von Vorurteilen und zu ganzheitlicher Wirklichkeitserkenntnis*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Heering, P. & Kremer, K. (2018). Nature of Science. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Heinicke, S. & Heering, P. (2013). Discovering randomness, recovering expertise: The different approaches to the quality in measurement of Coulomb and Gauss and of today's students. *Science & Education*, 22(3), 483–503. <https://doi.org/0.1007/s11191-011-9430-8>
- Heinicke, S. & Holz, C. (2020). Wann wird man aus Fehlern klug? Perspektiven auf den Umgang mit und das Lernen aus Fehlern. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 4–9.
- Heinze, A. (2004). Zum Umgang mit Fehlern im Unterrichtsgespräch der Sekundarstufe I. Theoretische Grundlegung, Methode und Ergebnisse einer Videostudie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 25, 221–244. <https://doi.org/10.1007/BF03339324>
- Heinze, A. & Reiss, K. (2007). Mistake-Handling Activities in the Mathematics Classroom: Effects on an In-Service Teacher Training on Students' Performance in Geometry. In J.-H. Woo, H.-C. Lew, K.-S. Park & D.-Y. Seo (Hrsg.), *Proceedings of the 31st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 3, S. 9–16). Seoul PME.
- Hellwig, J. & Heinicke, S. (2020). Messfehler – wann, warum und wie? Unterrichtsansätze und Werkzeuge für die Sekundarstufe I zur Auseinandersetzung mit Mess„fehlern“. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 28–32.
- Henke, A. & Höttecke, D. (2013). Students' Beliefs about the Diachronic Nature of Science: A Metaphorbased Analysis of 8th-Graders' Drawings of „The Way of Science“. In J. H. Drummond, C. Hygino, D. Metz & M. E. B. Prestes (Hrsg.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. Sao Paulo: Tipografia Editoria Expressa.
- Hepp, R. (2020). Fehler in Klassenarbeiten. Lernförderliche Korrekturen von Fehlern. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 68–70.
- Herget, W. (2012). Typen von Aufgaben. In W. Blum, C. Drüke-Noe, R. Hartung & O. Köller (Hrsg.), *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I. Aufgabenbeispiele, Unterrichts Anregungen, Fortbildungsideen*. Berlin: Cornelsen.

- Hielscher, M. & Honegger, B. D. (2015). Lernumgebungen für den Einstieg ins Programmieren: Versuch einer Klassifikation. Abgerufen von https://programming-wiki.de/images/a/a9/Programmierungsumgebungen_2015.pdf (29.11.2023) Abgerufen von https://programmingwiki.de/images/a/a9/Programmierungsumgebungen_2015.pdf (29.11.2023)
- Hiniborch, J., Wille, K. & Friege, G. (2020). Fehler als Auslöser von Lernprozessen. Fehler nutzen, um ein tieferes Verständnis zu erlangen *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 78–81.
- Hoffmann, J. & Engelkamp, J. (2013). *Lern- und Gedächtnispsychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hofheinz, V. (2008). *Erwerb von Wissen über „Nature of Science“: Eine Fallstudie zum Potenzial impliziter Aneignungsprozesse in geöffneten Lehr-Lern-Arrangements am Beispiel von Chemieunterricht*. (Dissertation, Universität Siegen). Abgerufen von <https://dspace.uni-siegen.de/handle/ubsi/357> (29.11.2023)
- Hofheinz, V. (2010). Das Wesen der Naturwissenschaften. Was die Naturwissenschaften ausmacht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 21(118/119), 8–13.
- Holz, C. & Heinicke, S. (2020). Messfehler 2.0. Anregungen für einen fachlich adäquaten Umgang mit Messunsicherheiten in der Sekundarstufe II. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 33–38.
- Höttecke, D. (2001a). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7(1), 7–23.
- Höttecke, D. (2001b). *Studien zum Physiklernen. Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*. (Vol. 16). Berlin: Logos.
- Höttecke, D. (2004). Schülervorstellungen über die „Natur der Naturwissenschaften“. In C. Hössle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 264–277). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 271–288). Berlin: Springer Spektrum.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(6), 1–14.
- 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>
- Hu, L.-t. & Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*, 3(4), 424–453. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.3.4.424>

- Hu, L.-t. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Jost, D., Erni, J. & Schmassmann, M. (1992). *Mit Fehlern muss gerechnet werden. Didaktische Beiträge für den Mathematikunterricht. Mathematischer Lernprozess, Fehleranalyse, Beispiele und Übungen*. Zürich: Verlangsinstitut für Lehrmittel.
- Kahl, R. (1995). *Lob des Fehlers. Eine Sendereihe. Textbuch, erweitert um einen Essay von R. Kahl*. Hamburg: Pädagogische-Beiträge-Verlag.
- Kapur, M. (2015). Learning from productive failure. *Larning: Research and Practice*, 1(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/23735082.2015.1002195>
- Karapanos, M. & Fendler, J. (2015). Lernbezogenes Mediennutzungsverhalten von Studierenden der Ingenieurwissenschaften. Eine geschlechterkomparative Studie. *Journal of Technical Education*, 3(1), 39–55. <https://doi.org/10.48513/joted.v3i1.33>
- Kelleher, C. & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. *ACM Computing Surveys*, 37(2), 83–137. <https://doi.org/10.1145/1089733.1089734>
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551–578. <https://doi-org.ezproxy.phsg.ch/10.1002/tea.10036>
- Kiesel, A. & Koch, I. (2012). *Lernen. Grundlagen der Lernpsychologie. Lehrbuch. Basiswissen Psychologie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kleinke, K., Schlüter, E. & Christ, O. (2017). *Strukturgleichungsmodelle mit Mplus*. (2. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Kline, R. B. (2015). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. (4. Aufl.). New York, London: Guilford Press.
- Knafl, G. J., Knafl, K. A., Grey, M., Dixon, J., Deatrick, J. A. & Gallo, A. M. (2017). Incorporating nonlinearity into mediation analyses. *BMC Medical Research Methodology*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12874-017-0296-6>
- Kobi, E. (1994). Fehler. *Die neue Schulpraxis*, 2, 5–10.
- Köhler, W. (2005). Pasteur, Louis. In W. E. Gerabek, B. D. Haage, G. Keil & W. Werner (Hrsg.), *Enzyklopädie Medizingeschichte* (S. 1110–1112). Berlin, New York: De Gruyter.
- Körner, H.-D., Heim-Dreger, U. & Hinderberger, V. (Hrsg.). (2012). *Selbstwirksamkeitserwartungen in Abhängigkeit von Unterrichtstätigkeiten im Fach Chemie*. Berlin: Lit.
- Kotzebue, L. V., Förtsch, C., Förtsch, S. & Neuhaus, B. J. (2021). Dealing with student errors in whole-class discussions of biology lessons at german secondary schools. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20, 459–480. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10171-4>
- Kraus, M. E. (2020a). Lernen an fehlerhaftem Material. Beispiele für unterschiedliche Methoden und Materialien. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 74–77.

- Kraus, M. E. (2020b). Wie entwickelt man eine Fehlerkultur? Fehler im Physikunterricht wahrnehmen, einordnen und mit ihnen umgehen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 12–15.
- Kremer, K. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen – Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I*. (Dissertation, Universität Kassel). Abgerufen von <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2010091734623> (29.11.2023)
- Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Stabilität von Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 77–101.
- Kreutzmann, M. (2017). *Auswirkungen von Peer-Beziehungen und Peer-Netzwerken im Klassenzimmer auf Motivation und emotionales Erleben. Eine Analyse in unterrichtlichen Fehlersituationen und einem musisch-ästhetischen Interventionsprojekt*. (Dissertation, FU Berlin). Abgerufen von <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/225> (29.11.2023)
- Kreutzmann, M., Zander, L. & Hannover, B. (2014). Versuch macht kluch g?! Der Umgang mit Fehlern auf Klassen- und Individualebene. Zusammenhänge mit Selbstwirksamkeit, Anstrengungsbereitschaft und Lernfreude von Schülerinnen und Schüler. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 46(2), 101–113. <https://doi.org/10.1026/0049-8637/a000103>
- Krüger, J. (2017). *Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften. Theoretische Grundsatzüberlegungen und empirische Erkenntnisse*. Berlin: Logos.
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. (3. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Kuhn, T. S. (2020). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolution*. (26. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kuntze, S. (2009). Vorstellungen von Mathematiklehrkräften zum Umgang mit Fehlern im Unterricht weiterentwickeln. Befunde zu Wirkungen eines videobasierten Fortbildungsprojekts. *Mathematica Didactica*, 32, 3–30. <https://doi.org/10.18716/ojs/md/2009.1088>
- Kyriazos, T. A. (2018). Applied psychometrics: Sample size and sample power considerations in factor analysis (EFA, CFA) and SEM in general. *Psychology*, 8(9), 2207–2230. <https://doi.org/10.4236/psych.2018.98126>
- Langer, A. (2013). Transkribieren – Grundlagen und Regeln. In B. Friebertshäuser, A. Langer & A. Prengel (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (4. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Larochelle, M. & Désautels, J. (1991). ‚Of course, it’s just obvious‘: adolescents’ ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 13(4), 373–389. <https://doi.org/10.1080/0950069910130402>

- Latour, B. (1994). Pasteur und Pouchet: Die Heterogenese der Wissenschaftsgeschichte. In M. Serres (Hrsg.), *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften* (S. 749–789). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A. & Schwartz, R. S. (2013). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry – The Views About Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65–83. <https://doi.org/10.1002/tea.21125>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2014). Research on Teaching and Learning of Nature of Science. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 614–634). New York: Routledge.
- Leonhart, R. (2017). *Lehrbuch Statistik. Einstieg und Vertiefung*. (4. überarbeitete und erweiterte Aufl.). Bern: Hogrefe.
- Lepenes, W. (2016). Vergangenheit und Zukunft der Wissenschaftsgeschichte – Das Werk Gaston Bachelards. In *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis* (12. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Leuders, T. (2012). Kompetenzorientierte Aufgaben im Unterricht. In W. Blum, C. Drücke-Noe, R. Hartung & O. Köller (Hrsg.), *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I. Aufgabenbeispiele, Unterrichts Anregungen, Fortbildungsideen*. Berlin: Cornelsen.
- Li, C. J. & Monroe, M. C. (2017). Exploring the essential psychological factors in fostering hope concerning climate change. *Environmental Education Research*, 25(6), 936–954. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1367916>
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adam, A. D., Macklin, M. & Ebenezer, J. (2008). Assessing preservice elementary teachers' views on the nature of scientific knowledge: A dual-response instrument. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(1), 1–20. Abgerufen von https://www.eduhk.hk/apfslt/download/v9_issue1_files/liang.pdf (29.11.2023)
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M. & Ebenezer, J. (2006). *Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and further validation of an assessment instrument* Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), San Francisco, CA.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Livio, M. (2013). Don't bristle at blunders. *Nature*, 497, 309–310. <https://doi.org/10.1038/497309a>
- Loibl, K. & Leuders, T. (2018). Errors during exploration and consolidation—the effectiveness of productive failure as sequentially guided discovery learning. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 39, 69–96. <https://doi.org/10.1007/s13138-018-0130-7>

- Loibl, K. & Leuders, T. (2019). How to make failure productive: Fostering learning from errors through elaboration prompts. *Learning and Instruction*, 62, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.03.002>
- Loibl, K. & Rummel, N. (2014). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction*, 34, 74–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.08.004>
- Lopes, M. C. (2011). *Wirksamkeit von impliziten und expliziten Lernprozessen. Aneignung taktischer Kompetenzen und motorischer Fertigkeiten im Basketball*. (Dissertation, Universität Heidelberg). Abgerufen von <https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/12026/> (29.11.2023)
- Lubben, F. & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955–968. <https://doi.org/10.1080/0950069960180807>
- Maltese, A. V., Simpson, A. & Anderson, A. (2018). Failing to learn: The impact of failures during making activities. *Thinking Skills and Creativity*, 30, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.01.003>
- Mayr, E. (1998). *Das ist Biologie. Die Wissenschaft des Lebens*. Heildeberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10–16. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb10205.x>
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17, 249–263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- McComas, W. F. (2015). The nature of science & the next generation of biology education. *The American Biology Teacher*, 77(7), 485–491. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.7.2>
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M. P. (1998). The nature of science in science education: An introduction. *Science & Education*, 7, 511–532.
- McComas, W. F., Clough, M. P. & Nouri, N. (2020). Nature of science and classroom practice: A review of the literature with implications for effective NOS instruction. *Nature of Science in Science Instruction*, 67–111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_4
- McDonald, R. P. & Ho, M.-H. R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological Methods*, 7(1), 64–82. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.7.1.64>
- Mead, M. & Méraux, R. (1957). Image of the scientist among high-school students. *Science*, 126(3270), 384–390.
- Metzger, S. (2019). *NaTech. Unterrichten mit NaTech 7–9*. Zürich: Lehrmittelverlag.
- Meyer, J.-U. (2011). Das Edison-Prinzip. Was die Lehre vom erfolgreichsten Erfinder aller Zeiten lernen kann. In C. Koop & O. Steenbuck (Hrsg.), *Kreativität: Zufall oder harte Arbeit?* (S. 41–44). Frankfurt: Karg-Stiftung.

- Meyer, K. & Carlisle, R. (1996). Children as experimenters. *International Journal of Science Education*, 18(2), 231–248. <https://doi.org/10.1080/0950069960180207>
- Meyer, L., Seidel, T. & Prenzel, M. (2006). Wenn Lernsituationen zu Leistungssituationen werden: Untersuchung zur Fehlerkultur in einer Videostudie. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28(1), 21–41. Abgerufen von https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=4137 (29.11.2023)
- Meyling, H. (1997). How to change students, conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6(4), 397–416. <https://doi.org/10.1023/A:1017908916810>
- Michaeli, T. & Romeike, R. (2019). Debuggen im Unterricht – Ein systematisches Vorgehen macht den Unterschied. In A. Pasternak (Hrsg.), *Informatik für alle* (S. 129–138). Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Mladenović, M., Boljat, I. & Žanko, Ž. (2018). Comparing loops misconceptions in block-based and text-based programming languages at the K-12 level. *Education and Information Technologies*, 23, 1483–1500. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9673-3>
- Moosmüller, G. (2004). *Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung*. München: Pearson.
- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (1998–2017). *Mplus. Statistical Analysis With Latent Variables. User's Guide*. Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- Nash, L. K. (1951). An historical approach to the teaching of science. *Journal of Chemical Education*, 28(3), 146–151. <https://doi.org/10.1021/ed028p146>
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 209–232.
- OECD. (2021). PISA. Programme for International Student Assessment. Abgerufen von <https://www.oecd.org/pisa/#> (29.11.2023)
- Oerter, R. (2012). Lernen en passant: Wie und warum Kinder spielend lernen *Diskurs Kindheits- und Jugendforschung / Discourse. Journal of Childhood and Adolescence Research*, 7(4), 389–403.
- Oppermann, E., Keller, L. & Anders, Y. (2020). Geschlechtsunterschiede in der kindlichen MINT-Lernmotivation: Forschungsbefunde zu bestehenden Unterschieden und Einflussfaktoren *Journal of Childhood and Adolescence Research*, 1, 38–52. <https://doi.org/10.3224/diskurs.v15i1.04>
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>
- Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des “negativen” Wissens. In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 11–41). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Oser, F. & Spychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des Negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim, Basel: Beltz.

- Pais, A. (1986). *„Raffiniert ist der Herrgott ...“: Albert Einstein. Eine wissenschaftliche Biografie*. Braunschweig: Vieweg.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315–341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Perscheid, M., Siegmund, B., Taeumel, M. & Hirschfeld, R. (2016). Studying the advancement in debugging practice of professional software developers. *Software Qual J*, 25, 83–110. <https://doi.org/10.1007/s11219-015-9294-2>
- Popper, K. R. (2008). *Science: Conjectures and Refutations. Wissenschaft: Vermutungen und Widerlegungen*. Ditzingen: Reclam.
- Popper, K. R. (2018). *Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis Geschichte und Politik*. (19. Aufl.). München: Piper.
- Prechtel, P. & Burkhard, F.-P. (Hrsg.). (2008). *Metzler Lexikon Philosophie – Begriffe und Definitionen* (3. Aufl.). Stuttgart: H. B. Metzler.
- Prediger, S. & Wittmann, G. (2009). Aus Fehlern lernen – (wie) ist das möglich? *PM Praxis in der Mathematik in der Schule. Sekundarstufe 1 und 2*, 27. Abgerufen von http://www.mathematik.tu-dortmund.de/~prediger/veroeff/09-Prediger_Wittmann_PM27_Webversion.pdf (29.11.2023)
- Qian, Y. & Lehman, J. (2017). Students’ misconceptions and other difficulties in introductory programming: A literature review. *ACM Transactions on Computing Education*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.1145/3077618>
- Qian, Y. & Lehman, J. (2019). An investigation of high school students’ errors in introductory programming: A data-driven approach. *Journal of Educational Computing Research*, 58(5), 919–945. <https://doi.org/10.1177/0735633119887508>
- Rach, S., Ufer, S. & Heinze, A. (2013). Learning from errors: Effects of teachers training on students’ attitudes towards and their individual use of errors. *PNA*, 8(1), 21–30.
- Reinders, H. (2011). Interview. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung. Strukturen und Methoden* (S. 85–98). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Reinders, H. (2015). Fragebogen. In H. Reinders, H. Ditton, H. Gräsel & C. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung. Strukturen und Methoden*. Wiesbaden: Springer VS.
- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. & Köller, O. (Hrsg.). (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster, New York: Waxmann.
- Reusser, K. (1999). Schülerfehler – die Rückseite des Spiegels. In W. Althof (Hrsg.), *Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 203–232). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Robertson, J. M. (Hrsg.) (1905). *The Philosophical Works of Francis Bacon*. London: George Routledge and Sons.
- Rosseel, Y. (2020). Small sample solutions for structural equation modeling. In R. v. d. Schoot & M. Miočević (Hrsg.), *Small Sample Size Solutions. A Guide for Applied Researchers and Practitioners*. New York: Routledge.

- Rühling, U. (2020). Förderung der Fehlerkultur bei mathematischen Aufgaben. Einstieg in eine Unterrichtsreihe zu den keplerschen Gesetzen und zum Gravitationsgesetz. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 82–86.
- Ryan, A. G. & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559–580. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760602>
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Sandelowski, M., Voils, C. I. & Knafl, G. (2009). On quantitizing. *Journal of Mixed Methods Research*, 3(3), 208–222. <https://doi.org/10.1177/1558689809334210>
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634–656. <https://doi.org/10.1002/sce.20065>
- Schecker, H. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 1–23). Berlin: Springer Spektrum.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. & Müller, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research*, 8(2), 23–74.
- Schmid, R., Robin, N., Smit, R. & Strahl, A. (2022). The influence of error learning orientation on intrinsic motivation for visual programming in STEM education. *European Journal of STEM Education*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/12477>
- Schmitt, M. & Blum, G. S. (2020). State/Trait Interactions. In V. Zeigler-Hill & T. K. Shackelford (Hrsg.), *Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (S. 5206–5209). Cham: Springer.
- Schriebl, D., Müller, A. & Robin, N. (2022). Modelling authenticity in science education. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00355-x>
- Schuhmacher, R. (2008). Der produktive Umgang mit Fehlern. Fehler als Lerngelegenheit und Orientierungshilfe. In R. Caspary (Hrsg.), *Nur wer Fehler macht, kommt weiter. Wege zu einer neuen Fehlerkultur* (S. 49–72). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Schumacher, R. (2008). Der produktive Umgang mit Fehlern. Fehler als Lerngelegenheit und Orientierungshilfe. In R. Caspary (Hrsg.), *Nur wer Fehler macht, kommt weiter. Wege zu einer neuen Fehlerkultur* (S. 49–72). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Schumacker, R. E. & Lomax, R. G. (2016). *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling?* London: Routledge.

- Schunk, D. H. & Usher, E. L. (2012). Social Cognitive Theory and Motivation. In R. M. Ryan (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Human Motivation* (S. 13–27). Oxford: Oxford University Press.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmle, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799–821. <https://doi.org/10.25656/01:4489>
- Selter, C., Prediger, S., Nührenbörger, M. & Hußmann, S. (Hrsg.). (2014). *Mathe sicher können. Handreichungen für ein Diagnose- und Förderkonzept zur Sicherung mathematischer Basiskompetenzen. Natürliche Zahlen*. Berlin: Cornelsen.
- Serres, M. (Hrsg.) (1994). *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Shaakumeni, S. N. & Csapó, B. (2019). Exploring the factorial validity of the beliefs about nature of science questionnaire. *Science Education International*, 30(1), 38–44.
- Simpson, A., Anderson, A., Maltese, A. & Goeke, M. (2018). “I’m Going to Fail”: How Youth Interpret Failure Across Contextual Boundaries. In J. Kay & R. Luckin (Hrsg.), *Rethinking Learning in the Digital Age: Making the Learning Sciences Count, 13th International Conference of the Learning Sciences (ICLS)*. London: International Society of the Learning Sciences.
- Simpson, A., Anderson, A. & Maltese, A. V. (2019). Caught on camera: Youth and educators’ noticing of and responding to failure within making contexts. *Journal of Science Education and Technology*, 28, 480–492. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09780-0>
- Simsek, A. (2011). The relationship between computer anxiety and computer self-efficacy. *Contemporary Educational Technology*, 2(3), 177–187. <https://doi.org/10.30935/cedtech/6052>
- Smit, R., Hess, K., Bachmann, P., Blum, V. & Birri, T. (2019). What happens after the intervention? Results from teacher professional development in employing mathematical reasoning tasks and a supporting rubric. *Frontiers in Education*, 3, 1–12. <https://doi.org/10.3389/educ.2018.00113>
- Songer, N. B. & Linn, M. C. (1991). How do students’ views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761–784. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280905>
- Spychiger, M., Kuster, R. & Oser, F. (2006). Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule und deren Messung. Der Schülerfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht für Mittel- und Oberstufe. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaft*, 28, 87–110. <https://doi.org/10.25656/01:4140>
- Spychiger, M., Oser, F., Hascher, T. & Mahler, F. (1999). Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule. In F. Oser (Hrsg.), *Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 43–70). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Stamer, I., David, M. A., Höffler, T., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2021). Authentic insights into science: scientific videos used in out-of-school learning environments. *International Journal of Science Education*, 43(6), 868–887. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1891321>

- Stern, E. (2009). Implizite und explizite Lernprozesse bei Lehrerinnen und Lehrern. In K. Beck & O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Lehrerprofessionalität. Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 355–364). Weinheim: Beltz.
- Stinken-Rösner, L. (2020). Fehler beim Schätzen. (Un)realistische Ergebnisse anhand von Grössenvorstellungen erkennen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 64–67.
- Streiner, D. L. (2003). Starting at the beginning: An introduction to coefficient alpha and internal consistency. *JOURNAL OF PERSONALITY ASSESSMENT*, 80(1), 99–103. https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_18
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2019). *Using Multivariate Statistics*. (7. Aufl.). New York: Pearson.
- Tashakkori, A. & Teddlie, C. (2008). Quality of Inferences in Mixed Methods Research: Calling for an Integrative Framework. In M. M. Bergman (Hrsg.), *Advances in mixed methods research* (S. 101–119). Thousand Oaks: Sage.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(10), 51–69.
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Theysen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Toh, P. L. L. & Kapur, M. (2017). Is having more prerequisite knowledge better for learning from productive failure? *Instructional Science volume*, 45, 377–394. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9402-0>
- Tulis, M. & Ainley, M. (2011). Interest, enjoyment and pride after failure experiences? Predictors of students' state emotions after success and failure during learning in mathematics. *Educational Psychology*, 31(7), 779–807. <https://doi.org/10.1080/01443410.2011.608524>
- Türling, J. M. (2014). *Die professionelle Fehlerkompetenz von (angehenden) Lehrkräften. Eine empirische Untersuchung im Rechnungswesenunterricht*. Wiesbaden: Springer VS.
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2010). Das Experiment in Schule und Wissenschaft – ein „Nature of Science“-Aspekt explizit in einem Projekt im Schülerlabor. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/182> (29.11.2023)
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2012). Experiments in schools and science labs. An explicit „nature of science“-aspect in a project for a science lab for school students.
- Ungermann, M. & Spatz, V. (2019). Nature of Science im Schüler*innen-Labor Physik vermitteln. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 81–84). Universität Regensburg: GDCCP.
- Universität Passau. (o.J.). *Litterbox. Codemuster*. Abgerufen von <https://scratch.fim.uni-passau.de/litterbox/pattern.php> (29.11.2023)

- Vance, A. (2019). *Elon Musk. Tesla, PayPal, SpaceX. Wie Elon Musk die Welt verändert – Die Biografie*. München: FinanzBuch Verlag.
- Voss, S., Kruse, J. & Kent-Schneider, I. (2022). Comparing student responses to convergent, divergent, and evaluative nature of science questions. *Research in Science Education*, 52, 1277–1291. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10009-7>
- Wang, W., Yang, C., Wang, B., Chen, X., Wang, B. & Yuan, W. (2019). When error learning orientation leads to learning from project failure: The moderating role of fear of face loss. *Frontiers in Psychology*, 10, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01317>
- Weingart, P. (2003). Von Menschenzüchtern, Weltbeherrschern und skrupellosen Genies – Das Bild der Wissenschaft im Spielfilm science + fiction. *science + fiction. Zwischen Nanowelt und globaler Kultur*.
- Welberg, J., Holz, C. & Heinicke, S. (2020). Umgang mit unsicheren Daten. Perspektiven der Schülerinnen und Schüler. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(177/178), 44–47.
- Wheeler, J. C. (2018). *Grace Hopper. Computer Scientist*. Minneapolis: Abdo Publishing.
- Williams, M. M. & George-Jackson, C. E. (2014). Using and doing science: gender, self-efficacy, and science identity of undergraduate students in STEM. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 20(2), 99–126.
- Yeager, D. S. & Walton, G. M. (2011). Social-psychological interventions in education: They're not magic. *Review of Educational Research*, 81(2), 267–301. <https://doi.org/10.3102/0034654311405999>
- Zander, L., Kreutzmann, M. & Wolter, I. (2014). Constructive handling of mistakes in the classroom: The conjoint power of collaborative networks and self-efficacy beliefs. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 17, 205–223. <https://doi.org/10.1007/s11618-014-0558-6>
- Zdawczyk, C. & Varma, K. (2022). Engaging girls in computer science: gender differences in attitudes and beliefs about learning scratch and python. *Computer Science Education*. <https://doi.org/10.1080/08993408.2022.2095593>
- Ziefele, M. & Jakobs, E.-M. (2009). *Wege zur Technikfaszination: Sozialisationsverläufe und Interventionszeitpunkte*. Berlin: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Springer.
- Ziegler, W. (2019). *Popper in 60 Minuten*. Norderstedt: BoD.

13 Anhang

Leitfaden für Workshopleitende und studentische Hilfskräfte zum Umgang mit Fehlern

Tabelle 64: Fehlerermutigungsdidaktik, angepasst an Oser & Spychiger (2005, S. 166)

Unterrichtliche Parameter	Fehlervermeidungsdidaktik	Fehlerermutigungsdidaktik
Unterrichtsformen	<ul style="list-style-type: none"> – Frontalunterricht – Einzelarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Klassengespräch – Partnerarbeit – Einzelarbeit – Gruppenarbeit
Workshopleitung Stud. Hilfskräfte	<ul style="list-style-type: none"> – ist aktiv – steht im Zentrum – führt Monologe – vertrauen nicht in Können der SuS, d. h. glauben nicht daran, dass es die SuS besser können und lernfähig sind (Caspary, 2008, S. 30) – vertuschen eigene Fehler (Oser & Spychiger, 2005, S. 169) – sehen Fehler nicht als Lerngelegenheit (Spychiger, Kuster & Oser, 2006, S. 96) 	<ul style="list-style-type: none"> – regt Dialoge an – unterstützt Schüler*innen-äußerungen – geben Vertrauensvorschuss, d. h. glauben daran, dass es die SuS besser können und lernfähig sind (Caspary, 2008, S. 30) – stehen zu eigenen Fehlern (Oser & Spychiger, 2005, S. 169) – sehen Fehler als Lerngelegenheit (Spychiger, Kuster & Oser, 2006, S. 96)
Nonverbale Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> – WL/S verlässt Situation, wendet sich den SuS ab, hat keinen Blickkontakt (Spychiger, Oser, Hascher, & Mahler 1999, S. 48) 	<ul style="list-style-type: none"> – WL/S bleibt in der Situation, bleibt den SuS zugewendet, hat Blickkontakt (Spychiger, Oser, Hascher, & Mahler 1999, S. 48)
SuS	<ul style="list-style-type: none"> – sind passiv, reagieren auf WL/S 	<ul style="list-style-type: none"> – sind aktiv, im Zentrum, interagieren
Die Frage im Unterricht	<ul style="list-style-type: none"> – die WL/S fragt die SuS (stellt W-Fragen, Kontrollfragen, unechte Fragen, Ketten-Fragen) 	<ul style="list-style-type: none"> – die SuS stellen eigene Fragen, Fragen an Mitlernende und WL/S, WL/S stellt echte Fragen

Unterrichtliche Parameter	Fehlervermeidungsdidaktik	Fehlerermutigungsdidaktik
Antworten	<ul style="list-style-type: none"> – kurze Antworten – falsche Antworten werden übergangen oder selber korrigiert – WL/S bewertet SuS-Antworten 	<ul style="list-style-type: none"> – SuS geben längere Antworten – beantworten auch Fragen von anderen SuS – WL/S beantwortet SuS-Fragen
Rückmeldung	<ul style="list-style-type: none"> – WL/S bewertet Fehler negativ, ignoriert falsche Antworten oder gibt richtige Lösung – Fixierung auf richtige Lösungen – Lernende vermeiden Fehler – WL/S versetzt sich nicht in Denkprozess der SuS, knüpft nicht daran an (Spychiger, Oser, Hascher, & Mahler 1999, S. 48) 	<ul style="list-style-type: none"> – Fehler sind nicht tabuisiert, werden genannt, besprochen, ausgewertet – Ermutigung der Lernenden zu anderen, neuen, besseren Lösungswegen durch Dialog – WL/S versetzt sich in Denkprozess der SuS und knüpft daran an (Spychiger, Oser, Hascher, & Mahler 1999, S. 48)
Bewertung des Lernprozesses	<ul style="list-style-type: none"> – ist lehrerzentriert – WL/S begleitet, kommentiert, bewertet Lernprozess der SuS – SuS sind nur Empfänger 	<ul style="list-style-type: none"> – SuS und WL/S nehmen Stellung zu Leistung der SuS, sagen eigene Meinung – SuS sind selbstkritisch, offen – bewerten eigene Lernprozesse mit Unterstützung der WL/S
Zeit	<ul style="list-style-type: none"> – schnelle Reaktion der SuS erwartet, lässt Zeitdruck entstehen 	<ul style="list-style-type: none"> – SuS haben genügend Zeit zum Denken und Formulieren
Klassenklima	<ul style="list-style-type: none"> – ist gezeichnet durch die Aktivität der WL – es herrschen Ruhe und Disziplin – die SuS wirken phasenweise gelangweilt oder aber angespannt – die WL steht im Mittelpunkt, SuS sind passiv 	<ul style="list-style-type: none"> – ist angeregt, aber entspannt – Disziplin ist vorhanden – WL ebenso wie SuS sind aktiv und stehen im Austausch

WL = Workshopleitung; S = stud. Mitarbeiter*in; SuS = Schülerinnen und Schüler

Fragebogen Pretest

Q1

Allgemeine Angaben

Q2

Dein persönlicher Code

Bitte gib die ersten zwei Buchstaben des Vornamens deiner Mutter ein.

Bitte gib die ersten zwei Zahlen deines Geburtstags ein.

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q3

Geschlecht

männlich

weiblich

Q4

Wie alt bist du?

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q5

Programmieren in Schule und Freizeit

	nie	selten	manchmal	eher oft	oft	sehr oft
Wie oft hast du in der Schule mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?	<input type="radio"/>					
Wie oft hast du in der Freizeit mit Scratch, Blockly, micro:bit, mBot oder anderem programmiert?	<input type="radio"/>					
Wie oft hast du in der Schule ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?	<input type="radio"/>					
Wie oft hast du in der Freizeit ein Game, eine Website, einen Roboter oder anderes programmiert?	<input type="radio"/>					

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q6

Deine Vorstellungen zum Programmieren

Q7

Stell dir vor, dass dich jemand aus dem Weltraum besucht. Dieser Besucher, diese Besucherin hat das Wort "visuelles Programmieren" noch nie gehört. Wie erklärst du ihm/ihr das? (Wenn du eine Idee hast, dann schreibe hier deine Erklärung in maximal drei Sätzen auf)



----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q8

Es gibt auch andere Möglichkeiten, "visuelles Programmieren" zu erklären.

Beim visuellen Programmieren wird ein Code mit grafischen Elementen erstellt. Das sind beispielsweise farbige Blöcke. Diese Blöcke werden passend aneinander gehängt.

Zum Beispiel:



Quelle: "micro:bit web" by Tatsuo Yamashita is licensed under CC BY 2.0.

Man kann auch textbasiert programmieren.

Zum Beispiel:

```
1 for (let index = 0; index < 5; index++) {  
2   pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 1)  
3   basic.pause(500)  
4   pins.digitalWritePin(DigitalPin.P0, 0)  
5   basic.pause(500)  
6 }  
7 basic.forever(function () {  
8  
9 })
```

Der micro:bit ist ein Beispiel eines kleinen programmierbaren Computers.



Quelle: "micro:bit Board" by SparkFunElectronics is licensed under CC BY 2.0.

----- SEITENUMBRUCH -----

Q9

Bitte gib an, wie sehr die folgenden Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Ich kann gut mit Computern arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu visuell zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen erhalten immer die gleichen Ergebnisse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen immer wieder angepasst werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fühle mich sicher in Bezug auf meine Fähigkeiten, einen Computer zu nutzen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Wissenschaftler*innen arbeiten auf die gleiche Weise.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Wirtschaft beeinflusst, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programmieren interessiert mich überhaupt nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q10

Bitte gib an, wie sehr die folgenden Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Fehler in Experimenten helfen Wissenschaftler*innen Lösungen zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu, dass ich mich in ein neues Computerprogramm selbst einarbeiten kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Wissenschaftler*innen nutzen die gleichen Arbeitsweisen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu den micro:bit zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich benutze den Computer in meiner Freizeit oft.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas falsch mache, vermiest mir das die ganze Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu Fehler in einem Code zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich beschäftige mich in meiner Freizeit viel mit Computern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- SEITENUMBRUCH -----

Q11

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Die Firmen bestimmen, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programmieren macht mir Spass.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Fragen in den Wissenschaften haben genau eine Lösung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas falsch mache, macht mir die Aufgabe trotzdem noch genauso viel Spass.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde das Programmieren sehr unterhaltsam.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das wissenschaftliche Wissen entsteht dank der Kreativität von Wissenschaftler*innen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu textbasiert zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- SEITENUMBRUCH -----

Q12

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimm völlig
Wenn ich etwas nicht kann, habe ich in Zukunft trotzdem den gleichen Spass an der Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Wissenschaftler*innen können nur forschen, wenn sie Geld aus der Wirtschaft erhalten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich eine Aufgabe nicht lösen kann, habe ich beim nächsten Mal weniger Lust.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In meiner Freizeit verbringe ich viel Zeit vor dem Computer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliche Probleme haben nur eine richtige Antwort.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde Programmieren langweilig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einige wissenschaftliche Erkenntnisse von heute waren in der Vergangenheit anders.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q13

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen auf dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Ich fühle mich im Umgang mit Standardsoftware (Office-Anwendungen, Internet, E-Mail) sicher.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spass an der Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aus fehlerhaften Experimenten lernen Wissenschaftler*innen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde das Programmieren sehr interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falsche Lösungen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu einen fehlerhaften Code zu verbessern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q14

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen auf dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fühle mich im Umgang mit komplexeren Anwendungen im Multimedia-Bereich (z.B. Zeichenprogramme, Programmiersprachen, Audio- und Videosoftware) sicher.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliche Erkenntnisse können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich mag Programmieren sehr gerne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas nicht kann, habe ich trotzdem Lust weiter zu arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen haben alle die gleichen Vorgehensweisen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch Fehler in Experimenten finden Wissenschaftler*innen andere Lösungswege.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fragebogen Posttest und Fragebogen Follow-up-Test

Q1

Allgemeine Angaben

Q2

Dein persönlicher Code

Bitte gib die ersten zwei Buchstaben des Vornamens deiner Mutter ein.

Bitte gib die ersten zwei Zahlen deines Geburtstags ein.

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q3

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Alle Wissenschaftler*innen arbeiten auf die gleiche Weise.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu visuell zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manchmal hilft es mir im Unterricht, einen Fehler in Erinnerung zu behalten, um ihn nicht wieder zu machen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen erhalten immer die gleichen Ergebnisse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen immer wieder angepasst werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fand den Besuch im Smartfeld sehr interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bekomme Angst, wenn ich im Unterricht Fehler mache.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Wirtschaft beeinflusst, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programmieren interessiert mich überhaupt nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fehler in Experimenten helfen Wissenschaftler*innen Lösungen zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q4

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Während des Workshops verging die Zeit wie im Flug.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich schäme mich im Unterricht, wenn ich vor der Klasse Fehler mache.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Wissenschaftler*innen nutzen die gleichen Arbeitsweisen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu den micro:bit zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Aufgaben waren genau richtig. Nicht zu leicht und nicht allzu schwer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas falsch mache, vermiest mir das die ganze Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen nutzen ihre Kreativität, um Probleme zu lösen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu Fehler in einem Code zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich mag Programmieren sehr gerne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q5

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Ich würde das Smartfeld gerne noch einmal besuchen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Firmen bestimmen, was die Wissenschaftler*innen untersuchen sollen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Programmieren macht mir Spass.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Fragen in den Wissenschaften haben genau eine Lösung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas falsch mache, macht mir die Aufgabe trotzdem noch genauso viel Spass.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde das Programmieren sehr unterhaltsam.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das wissenschaftliche Wissen entsteht dank der Kreativität von Wissenschaftler*innen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mit Programmieraufgaben wie im Smartfeld lassen sich viele praktische Probleme lösen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es macht mir Freude, mir durch Fehler neues Wissen anzueignen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q6

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Ich traue mir zu textbasiert zu programmieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas nicht kann, habe ich in Zukunft trotzdem den gleichen Spass an der Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Wissenschaftler*innen können nur forschen, wenn sie Geld aus der Wirtschaft erhalten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich eine Aufgabe nicht lösen kann, habe ich beim nächsten Mal weniger Lust.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Smartfeld habe ich mich gelangweilt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliche Probleme haben nur eine richtige Antwort.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich im Unterricht etwas ungeschickt mache, nehme ich dies als Gelegenheit wahr, daraus zu lernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich etwas nicht kann, habe ich trotzdem Lust weiter zu arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q7

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Ich finde Programmieren langweilig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einige wissenschaftliche Erkenntnisse von heute waren in der Vergangenheit anders.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Während des Workshops fiel es mir leicht, gut aufzupassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe im Smartfeld etwas gelehrt, das ich unmittelbar oder später brauchen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spass an der Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu eigene Programme für den micro:bit zu schreiben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aus fehlerhaften Experimenten lernen Wissenschaftler*innen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde das Programmieren sehr interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftler*innen haben alle die gleichen Vorgehensweisen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q8

Bitte gib an, wie sehr folgende Aussagen für dich zutreffen.

	stimmt überhaupt nicht	stimmt grösstenteils nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt grösstenteils	stimmt völlig
Falsche Lösungen in Aufgaben überdenke ich mehrmals.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich traue mir zu einen fehlerhaften Code zu verbessern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe im Smartfeld etwas gelernt, dass für mich wichtig ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich im Unterricht Fehler mache, mach ich mir Vorwürfe, dass ich nicht genug aufgepasst habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Programmieren macht im Smartfeld Spass.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wissenschaftliche Erkenntnisse können sich durch den technologischen Fortschritt ändern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Informatik grösser geworden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch das Lernen und Programmieren im Smartfeld ist mein Interesse an Naturwissenschaften grösser geworden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch Fehler in Experimenten finden Wissenschaftler*innen andere Lösungswege.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q9 **Deine Vorstellungen zum Programmieren**

Q10 **Stell dir vor, dass dich jemand aus dem Weltraum besucht. Dieser Besucher, diese Besucherin hat das Wort "visuelles Programmieren" noch nie gehört. Wie erklärst du ihm/ihr das? (Wenn du eine Idee hast, dann schreibe hier deine Erklärung in maximal drei Sätzen auf.)**

Q11 **Was würdest du gerne mit dem micro:bit programmieren?**

----- - SEITENUMBRUCH - -----

Q12

Was hat dir im Smartfeld besonders gut gefallen?

Q13

Was hat dir im Smartfeld nicht gefallen?

Interviewleitfaden

Interviewnummer/Code	
Name der Audiodatei	
Datum des Interviews	
Ort der Aufnahme	
Dauer der Aufnahme	
Befragte Person	
Interviewer*in	
Fragen/Gespräche vor Anschalten der Tonaufnahme	
Fragen/Gespräche nach Ausschalten der Tonaufnahme	
Besonderheiten (Postskriptum)	

Einstiegsphase

Hallo ... Vielen Dank, dass du dir Zeit für dieses Interview nimmst. In diesem Interview geht es um Einstellungen und Vorstellungen von dir. Das heißt, es gibt kein richtig und falsch. Bevor ich meine Fragen stellen werde, werde ich kurz zusammenfassen, was ihr am Workshoptag gemacht habt.

Du hast mit deiner Klasse nach den Herbstferien den Smartfeld-Workshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* besucht. Am Vormittag habt ihr einige Übungen zu LEDs gemacht und habt dann auch gemorst. Anschließend habt ihr mit dem LED-Streifen einige Debugging-Übungen gelöst. Dabei habt ihr Fehler im Code gesucht und diese verbessert. Am Nachmittag habt ihr dann verschiedene Smarte T-Shirts entwickelt. Ihr habt unter anderem Flaggen, einen Wetteranzeiger und ein Fahrradshirt entwickelt.

Deine Eltern habe die Einwilligung gegeben, dass ich dieses Gespräch mit einem Audiogerät aufzeichne. Unser Gespräch wird im Anschluss anonymisiert verschriftlicht. Sobald es verschriftlicht ist, wird die Audiodatei wieder gelöscht. Bist auch du einverstanden, dass ich das Gespräch aufzeichne?

Bevor wir starten, bräuchte ich noch deinen Code:

Bitte nenne die ersten zwei Buchstaben
des Vornamens deiner Mutter
und die ersten zwei Zahlen deines
Geburtstages

Bitte beantworte die Fragen so ausführlich wie möglich. Am besten sprichst du alle Gedanken laut aus.

Aufwärmphase

Was hat dir im Smartfeld besonders Spaß gemacht?

- Welche Aufgabe hat dir am meisten Spaß gemacht?

Hauptphase

Es gibt Wissenschaftler wie Galileo Galilei, Alessandro Volta, Stephen Hawking und viele mehr. Sie alle haben etwas erforscht und entdeckt oder erfunden. Volta hat beispielsweise über die Elektrizität geforscht und die Batterie erfunden. Im Smartfeld hast du einige Start-ups kennengelernt. Auch einige Personen aus diesen Start-ups sind Wissenschaftler oder Wissenschaftlerinnen. Stell dir nun vor, dass du ein Wissenschaftler bzw. eine Wissenschaftlerin bist und mit anderen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen in einem Start-up arbeitest. In diesem Start-up ist die benötigte Infrastruktur vorhanden. Du willst neue Erkenntnisse, also neues Wissen zum autonomen Fahren, also dem selbständigen Fahren eines Autos, gewinnen. Du möchtest aber auch ein selbstfahrendes Auto entwickeln.

Wie würdest du vorgehen?

- Wie würdest du vorgehen, um neue Erkenntnisse, also neues Wissen zu gewinnen?
- Wie würdest du vorgehen, um ein selbstfahrendes Auto zu entwickeln?

Warum können in diesem Prozess Fehler passieren?

Wo können in diesem Prozess Fehler passieren?

Welche Fehler können beim Experimentieren passieren?

Es können evtl. auch Beobachtungsfehler passieren. Wie können Beobachtungsfehler entstehen?

Wie gehst du als Wissenschaftler bzw. als Wissenschaftlerin mit diesen Fehlern um?

Ausstiegsphase

Habt ihr mit der Lehrperson in der Zwischenzeit etwas zu Fehlern gemacht?

Dies waren meine Fragen. Gibt es noch etwas, das du gerne sagen möchtest?

Danke, dass du dir die Zeit genommen hast und ich das Interview mit dir führen durfte.

Transkriptionsregeln

Die Transkriptionsregeln verfahren nach Kuckartz (2016) sowie nach Fuß und Karbach (2014). Das kursiv Notierte wurde jeweils angepasst.

1. „Es wird *mehrheitlich* [R S.] wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend.“ *Versprecher und Füllwörter, abgebrochene oder grammatikalisch falsche Sätze werden im Original belassen* [R S.] (Kuckartz, 2016, S. 167). Die Umgangssprache wurde leicht korrigiert und der Dialekt leicht geglättet. Bei der leichten Glättung wurde der „breite Dialekt“ korrigiert, aber umgangssprachliche Ausdrucksweisen, fehlerhafte Ausdrücke und Satzbauten und feststehende mundartliche Ausdrücke beibehalten.
2. „Sprache und Interpunktion werden leicht geglättet, d. h. an das Schriftdeutsch angenähert. Zum Beispiel wird aus ‚Er hatte noch so’n Buch genannt‘ → ‚Er hatte noch so ein Buch genannt‘. Die Satzform, bestimmte und unbestimmte Artikel etc. werden auch dann beibehalten, wenn sie Fehler enthalten“ (Kuckartz, 2016, S. 167).
3. „Deutliche, längere Pausen werden durch in Klammern gesetzte Auslassungspunkte (...) markiert. *Der Pausenlänge wird keine Beachtung geschenkt* [R S.]“ (Kuckartz, 2016, S. 167).
4. „Besonders betonte Begriffe werden durch Unterstreichungen gekennzeichnet“ (Kuckartz, 2016, S. 167).
5. „Eindeutige zustimmende Lautäußerungen im Sinne von ja/nein werden kommentierend *in Doppelklammer* transkribiert, *beispielsweise mhm ((bejahend))*“ (Fuß und Karbach, 2014, S. 45).
6. „Lautäußerungen der befragten Person, die die Aussage unterstützen oder verdeutlichen (etwa Lachen oder Seufzen), werden in Klammern notiert“ (Kuckartz, 2016, S. 167).
7. „Absätze der interviewenden Person werden durch ein ‚I:‘, die der befragten Person(en) durch ein eindeutiges Kürzel, z. B. ‚MA11:‘ [R S.], gekennzeichnet“ (Kuckartz, 2016, S. 167).

8. „Jeder Sprechbeitrag wird als eigener Absatz transkribiert. Sprecherwechsel *werden durch einen Abstand* [R S.] deutlich gemacht, um so die Lesbarkeit zu erhöhen“ (Kuckartz, 2016, S. 167). „Zuhörersignale (z. B. mhm, aha, ja) werden im Transkript ohne Zeilensprung für den Sprecherwechsel vermerkt“ (Fuß und Karbach, 2014, S. 45).
9. „Störungen werden unter Angabe der Ursache in Klammern notiert, z. B. (Handy klingelt)“ (Kuckartz, 2016, S. 168).
10. „Unverständliche Wörter werden durch (unv.) kenntlich gemacht“ (Kuckartz, 2016, S. 168).
11. „Alle Angaben, die einen Rückschluss auf eine befragte Person erlauben, werden anonymisiert“ (Kuckartz, 2016, S. 168).

Notationsregeln

Die Notationsregeln basieren auf Kuckartz (2016), Fuß und Karbach (2014) und Langer (2013).

(unv)	Unverständliche Passagen
(schwer zu verstehen)	Vermutete Äußerungen stehen in Klammern
(...)	Lange Pausen
(lacht)	Lautäußerungen stehen in Klammern
(Handy klingelt)	Störungen stehen in Klammern
Ich habe gestern mein Auto gewaschen (I: mhm) und bin dann in den Regen gekommen.	Zuhörersignale (z. B. mhm, aha, ja) werden im Transkript ohne Zeilensprung für den Sprecherwechsel vermerkt
Mhm ((bejahend)) Mhm ((verneinend))	Eindeutige zustimmende Lautäußerungen im Sinne von ja/nein werden kommentierend transkribiert
LAUT	Laut gesprochen
,leise‘	Leise gesprochen
<u>betont</u>	Betont gesprochen
Jaaa, siiicher	Dehnung; je mehr Vokale, desto länger ist die Dehnung
Gegan-	Wortabbruch

Kategoriensystem

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Aspekte zum Vorgehen beim naturwissenschaftlichen Arbeiten Fehler werden konkret erwähnt	<p>Fehler werden konkret erwähnt oder Aussagen über das Falschmachen oder Verbessern werden gemacht. Es werden auch Aussagen gemacht, dass man etwas anders machen muss.</p> <p>Dazu gehören alle Aussagen, die implizieren, dass etwas nicht funktioniert oder nicht funktionieren könnte.</p>	<p>Vielleicht klappt es dann und vielleicht nicht. Aber (...) einfach so, ja aber es immer wieder versuchen und neue Versuche machen und dann eben einfach rausgehen und versuchen, dieses Auto zu fahren und wenn es dann nicht funktioniert, nochmal die Fehler beheben (I8_CH06, Pos. 21).</p> <p>Auch so einen kleinen Prototypen bauen, vielleicht, so, mit so einem kleinen, mit so programmieren, ob das auch überhaupt klappt, ob das von selbst fährt (I28_NE02, Pos. 22).</p> <p>Und dann würde ich das testen auf einem Testgelände und so. Und sicher mal Hindernisse aufbauen und Personen, die schnell über die Straße gehen, und schauen, ob es diese erkennt oder ob man etwas daran anders machen kann, ob die Sensoren anders platziert werden müssen oder so (I15_DA01, Pos. 20).</p>
Fehler werden indirekt erwähnt	<p>Es werden keine konkreten Aussagen zum Falschmachen oder Andersmachen gemacht, sondern lediglich Aussagen dazu, dass man etwas versucht zu machen oder ausprobiert/experimentiert.</p>	<p>Dann würde ich einfach anfangen, etwas zu experimentieren (I1_SI13, Pos. 24).</p> <p>Ähm, ja. Und wenn das dann funktioniert, die Proportionen für ein größeres ausrechnen und es dann halt nochmals probieren (I16_KA11, Pos. 20).</p> <p>Und dann würde ich dieses auf einer normalen Straße ausprobieren, nicht auf einer Straße, wo bereits sehr viele Leute sind, also Menschen oder Autos oder was auch immer. Und ja (I5_SO16, Pos. 20).</p>

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Fehler werden nicht erwähnt	<p>Die Prozesse werden zwar ausführlich beschrieben, aber Fehler werden weder direkt noch indirekt erwähnt.</p>	<p>Ähm, ähm, ich würde zuerst Informationen darüber sammeln, was es alles dazu, was halt wichtig ist an diesem autonomen Auto (I23_YO54, Pos. 22).</p> <p>Ja, zuerst mal eine Skizze, also eine Skizze machen (I17_JA11, Pos. 22).</p> <p>Also ich würde mich sicher zuerst mit anderen Leuten, also anderen Wissenschaftlern beraten. Das wäre das Erste. Weil ich habe das Gefühl, jeder hat so seine eigenen Ideen und wenn man diese zusammenführt, kommt man bestimmt auf etwas Gutes (I1_SI13, Pos. 24).</p> <p>Und, ähm, dann würde ich zuerst mal, wenn ich geplant habe, schauen, was für Sachen ich überhaupt brauche, und diese dann auch kaufen (I20_RE15, Pos. 20).</p> <p>Weil das Auto so gesehen, habe ich ja schon, also das gibt es ja schon, das brauche ich nicht. Ich muss es so gesehen eigentlich nur mit Dings, mit den nötigen Kameras ausstatten und dann einfach ein Programm dazu entwickeln (I13_MI14, Pos. 20).</p>
Gründe für Fehler im Prozess (warum)	<p>In den Interviews werden Gründe für Fehler auf 9 unterschiedlichen Ebenen gegeben.</p> <p>In den Interviews wurden maximal 4 unterschiedliche Ebenen genannt.</p> <p>Gründe für Fehler beziehen sich auf das Warum. Die Antworten sind eine Erklärung, warum Fehler passiert sind.</p> <p>Schlagwörter: weil</p>	

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Wissen/Können	Hierzu gehören Aussagen, wie dass man etwas nicht weiß oder kann, weil Menschen nicht alles wissen oder weil Menschen keine Maschinen sind oder wenn man die eigenen Fähigkeiten falsch einschätzt.	Wenn man eben, man weiß es wirklich nicht so ganz, weil es ist etwas ganz Neues. Man hat noch nicht so viel Erfahrung, die Leute können noch nicht so gut damit umgehen, sie sind sich noch nicht daran gewöhnt (I1_S113, Pos. 32). Weil wir menschlich sind und keine Roboter sind. Weil, auch wenn man sich fest konzentriert und alles macht und versucht, es perfekt zu machen, gibt es Fehler (I12_AL21, Pos. 28).
Rechenfehler	Alle Aussagen dazu, dass man etwas falsch berechnet hat.	(..) wenn man Dinge falsch berechnet (I21_DAI2, Pos. 32).
Flüchtigkeitsfehler	Allgemeine Aussagen zu Flüchtigkeitsfehlern, etwas falsch notieren, falsche Suchbegriffe eingeben, ungenaues Arbeiten, Unvorsichtigkeit.	Und man hat es nicht ausgetauscht oder hat es vergessen oder hat es nicht gesehen (I24_CL12, Pos. 36). Also, wenn ich zum Beispiel etwas Falsches im Internet eingebe (: Mhm (bejahend)) und ich es dann nicht richtig, nicht richtig durchlese, dann kann es sein, dass ich zum Beispiel die Kabel vergesse habe und es dann schiefgehen würde oder so. (: Mhm (bejahend)) Und, ja (I20_RE15, Pos. 30). Oder dass ich nicht genug genau daran gewesen bin (I23_YO54, Pos. 30).
Zusammenarbeit	Aussagen zu Fehlern die in der Zusammenarbeit entstehen.	Wenn jemand etwas beim Forschen falsch sozusagen herausgefunden hat und dann mir das als Wissenschaftlerin weiterleiten würde, dann hätte ich bereits eine falsche Information zu viel (I10_KA07, Pos. 31).

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Material	Wenn Aussagen damit begründet werden, dass Materialien kaputtgegangen sind oder Materialien bereits zu Beginn defekt waren.	(...) irgendetwas war bereits beschädigt (I24_CL12, Pos. 36). Und Materialfehler vielleicht (I18_JE26, Pos. 28).
Programmierung	Wenn Fehler darauf zurückzuführen sind, dass man falsch programmiert hat (Fehler im Code).	Oder wenn einfach, wenn ich es mit einem Code mache, wenn es wie in dieser App, wenn ich da einen Fehler mache, dann ja (I2_CH19, Pos. 34). Und beim Programmieren, da könnte das meiste falsch laufen, weil das Auto programmiert wird und man nichts ändern kann, wenn man etwas programmiert hat (I5_SO16, Pos. 28).
Herstellung	Aussagen dazu, dass Fehler entstehen, weil man etwas falsch oder nicht vollständig hergestellt hat oder weil man bei der Herstellung falsch vorgegangen ist.	Wenn zum Beispiel einige Teile nicht richtig zusammengebaut wurden (I7_DA14, Pos. 46). Oder weil ich etwas zu wenig angezogen habe mit dem Schraubenzieher oder so. Uff, ja, ja (...) (I5_SO16, Pos. 30).
Testen	Alle Aussagen die Fehler darauf zurückführen, dass man zu wenig getestet hat.	Und, ähm, testet vielleicht zu wenig. Also, was ich zum Forschen bereits gehört habe, ist ja das Testen ein ziemlich wichtiger Punkt (I14_SE25, Pos. 29).
Sabotage	Aussagen dazu, dass eine Drittperson böswillig einen Fehler eingebaut hat.	Ja, vielleicht weil jemand meine Erfindung „verpfuschen“ will oder so (lacht), keine Ahnung (!: Mhm (bejahend)) Weil, ja (I16_KA11, Pos. 28).

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Momente, in welchen Fehler im Prozess passieren können (Wo)	<p>Über die Interviews wurden insgesamt 9 unterschiedliche Momente konkret benannt. Außerdem wurde oft gesagt, dass Fehler überall, also in jedem Moment des Prozesses passieren können.</p> <p>Teilweise wurden auch konkrete Momente aufgezählt, in denen keine Fehler passieren können.</p> <p>Schlagwort: beim</p>	
überall	<p>Aussagen dazu, dass Fehler überall, also in jedem Moment des Prozesses passieren können.</p> <p>Schlagwörter: überall, immer</p>	<p>Und eigentlich kann immer irgendwo ein Fehler passieren. Es gibt keine Tätigkeit, wo kein Fehler passieren kann, eigentlich (I13_M114, Pos. 30).</p>
Bei der Recherche	<p>Aussagen zu Fehlern bei der Recherche.</p>	<p>Also zum Beispiel, wenn ich im Internet nur nach Bildern suche oder so oder zum Beispiel einfach bei einem anderen Modell schaue, wie groß es ist, und es falsch abmesse oder so (I20_RE15, Pos. 34).</p>
Bei der Erkenntnisgewinnung	<p>Aussagen zu Fehlern bei der Erkenntnisgewinnung, also der Gewinnung von neuem Wissen.</p>	<p>Also einerseits bei der Gewinnung des Wissens, bei der Verarbeitung (I11_MA24, Pos. 30).</p>
Beim Planen	<p>Konkrete Aussagen zu Fehlern in der Planung oder Aussagen, die dem Planen zugeordnet werden können.</p>	<p>Oder auch bereits bei der Planung (i: Mhm (bejahend)) wenn man Dinge falsch berechnet (I21_DA12, Pos. 32).</p>

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Beim Materialeinkauf	Aussagen dazu, dass man Fehler beim Einkauf der Materialien macht.	Bei den Materialien, dass man da entweder zu viel oder zu wenig hat (I16_KA11, Pos. 30).
Beim Ausprobieren/Experimentieren	Äußerungen zu Fehlern die beim Ausprobieren, Experimentieren oder Forschen passieren.	Und, ähm, einfach an diesem Moment, an dem man ausprobieren muss und eigentlich nicht mehr, ähm, hundertprozentig weiß, ob es stimmt oder nicht, dann passieren am meisten Fehler (I14_SE25, Pos. 31).
Bei der Herstellung	Aussagen zu Fehlern, die bei der Herstellung des Autos passieren.	Aber auch beim Bauen, also man kann, glaube ich, schon viel falsch machen, wenn man ein Auto baut. (...) Ja (I8_CH06, Pos. 29).
Bei der Programmierung	Aussagen zu Fehlern, die während der Programmierung passieren.	Ich würde sagen, also vor allem beim Programmieren von diesen Sensoren und so (I15_DA01, Pos. 32).
Beim Testen	Alle Aussagen zu Fehlern beim Testen oder Aussagen, die darauf hindeuten, dass der Moment des Testens gemeint ist.	Wenn man es dann testet, dass etwas nicht richtig miteinander verbunden ist, so dass der Code nur auf einem Rad abspielt und an den anderen Rädern nicht. Also dass einfach nicht alles gleich ist, also nicht alles miteinander funktioniert, sondern alles für sich funktioniert (I3_BA31, Pos. 32). Beim, ja beim Selberfahren, dass es zum Beispiel einfach in eine Richtung fährt und abbiegt oder zum Beispiel bei der Sicherheit, dass es nicht automatisch bremst und einfach weiterfährt (I24_CL12, Pos. 30).
Beim Endprodukt	Aussagen, die darauf hindeuten, dass Fehler beim fertigen Auto passieren. Oft weisen diese Aussagen einen konkreten Bezug zur Fahrt im Straßenverkehr auf.	Ja, zum Beispiel wenn es jetzt auf der Autobahn Temposchilder sollte beachten können. Und wenn jetzt auf der Autobahn einen Krankenwagen kommt und das so die Autos auf die Seite gehen, an die Ränder, diese Rettungsgasse. Das müsste es eben auch schauen können. Vielleicht irgendwie ein Mikrofon einbauen, dass, sobald im so und so (unv.) Blaulicht zu hören ist, und dass es auch sieht, dass man auf die Seite fährt (I4_JU02, Pos. 34).

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Fehler beim Experimentieren		
Planungsfehler	Aussagen zu Fehlern, die aufgrund von falscher Planung entstehen, z. B. wenn ziellos experimentiert oder falsches Material verwendet wird oder wenn aufgrund von Unfallgefahr nicht alles ausprobiert werden kann.	Oder wenn man einfach nicht so viel Ahnung hat, was man genau macht. Und man einfach so ein bisschen herumexperimentiert, dann glaube ich, passieren viele Fehler (I9_BI05, Pos. 32).
Umsetzungsfehler	Aussagen zu Fehlern, die während des Experimentierens passieren, z. B. zu Flüchtigkeitsfehlern wie bei ungenauen Arbeitsweisen oder falschem Notieren, zu Fehlern bei der Herstellung z. B. bei Problemen mit der Elektrizität, zu Materialfehlern, Programmierfehlern, Rechenfehlern, Fehlern beim Testen durch z. B. zu wenige Wiederholungen oder zu Unfällen.	Mmh (fragend), ich könnte unsauber arbeiten oder „schusseln“ oder wie man dem sagt. Und, ähm, ja, einfach ungenau arbeiten (I23_YO54, Pos. 34). Es könnte sein, dass es einfach nicht anstellt, ja, also dass es (...), ja eben (lacht), dass es beim Anstellen nicht anstellt, weil ich irgendetwas falsch gemacht habe oder dass das Auto explodiert. Weil, ähm, die Batterie, die es darin hat, kann auch warm werden und wenn das explodiert (I5_SO16, Pos. 34).
Auswertungsfehler	Aussagen zu Fehlern, die bei der Auswertung des Experiments passieren, z. B. wenn man etwas falsch versteht oder interpretiert.	Und wenn man etwas falsch versteht, oder so (I18_JE26, Pos. 34).

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Es passieren keine Fehler oder weiß nicht	Aussagen dazu, dass keine oder wenige Fehler passieren. Oder die Schüler*innen wissen nicht, was für Fehler beim Experimentieren passieren können.	Aber ich denke, beim Experimentieren selber, bis man dann experimentiert, muss man sich ziemlich sicher sein, dass es funktioniert. Also passieren dann eher wenig Fehler (18_CH06, Pos. 35). Ähm (...), uff, keine Ahnung (lacht) keine, ähm, keine Idee (117_JA11, Pos. 36).
Entstehung Beobachtungsfehler		
Rein menschlicher Grund	Wenn die Schüler*innen begründen, dass Beobachtungsfehler entstehen, weil die beobachtende Person einen Fehler gemacht hat. Rein menschliche Gründe sind Gründe, die nur auf die Person zurückzuführen sind.	Ja, sonst ähm, wenn man nicht, ähm, konzentriert an der Sache ist und man halt immer abgelenkt wird (117_JA11, Pos. 40). Dass man vielleicht etwas falsch beobachtet hat und dann schreibt man sich das auf und dann ist es trotzdem anders (17_DA14, Pos. 54). Ja, wenn man nicht genau hinschaut (!: Mhm (bejahend)) und nicht darauf achtet und zum Beispiel an etwas anderes denkt zum Beispiel (14_JU02, Pos. 46).
Menschlicher Grund in Kombination mit einem sachlich/materiellen Einfluss	Wenn die Schüler*innen begründen, dass Beobachtungsfehler aufgrund eines menschlichen Grundes in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Einfluss entstehen, z. B. wenn man eine Brille braucht, die Technik schneller ist, als das menschliche Auge wahrnimmt, nicht alles sichtbar ist oder die äußeren Einflüsse eine Beobachtung beeinträchtigen.	Vielleicht wenn man eine Brille braucht (lacht) (!: Ja (lacht)) Ja, ähm ja (127_SO10, Pos. 44). Man sieht in einem Auto nicht alles, also ich sehe das Auto, die Scheiben, die Räder und die Türen, und ich sehe ja nicht, was im Motor (...). Da drin könnte ein Fehler sein und das sieht man ja dann nicht. Man müsste irgendwie an alles sehen können und alles genau beobachten. Jedes Teil (110_KA07, Pos. 35). Indem man es nicht richtig sieht, wenn es vielleicht dunkel ist oder eine schlechte Sicht. (!: Mhm (bejahend)) Oder so ähnlich (118_JE26, Pos. 38).

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Falsche Gründe oder keine Vorstellung	<p>Hierzu zählen falsche Aussagen dazu, wie Beobachtungsfehler entstehen, oder Aussagen, dass sie nicht wissen, wie Beobachtungsfehler entstehen.</p>	<p>Wenn man vielleicht etwas nicht aufschreibt oder dokumentiert. (i: Mhm (bejahend)) Und dann kann es halt sein, dass man es falsch berechnet oder auch die falschen Dinge dafür kauft und es dann falsch zusammenbaut (I21_DA12, Pos. 36). Äähm (...) hmmm (fragend), weiß nicht genau (I19_LI17, Pos. 36).</p>
Umgang von Wissenschaftler*innen mit Fehlern	<p>Alle Aussagen, die das Wahrnehmen, Denken oder Erkennen betreffen, z. B. Aussagen über das Bewusstsein, dass Fehler passieren, etwas neu durchdacht werden muss, Fehler zu machen menschlich ist, aus Fehlern gelernt werden kann, Fehler mit schlimmen Folgen verhindert werden sollen und nicht aufgegeben wird.</p>	<p>Also dann sollte man sich eigentlich bewusst sein, dass es Fehler gibt (I8_CH06, Pos. 39). Ich würde sagen, aus Fehlern lernt man (I1_SI13, Pos. 42). Ähm, also ich lass mich da nicht runterziehen, weil es, beim selbst-fahrenden Auto ist es eine Idee. Es kann funktionieren (I13_MI14, Pos. 38).</p>
Affektiv-motivational	<p>Alle Aussagen, die Gefühle in Bezug auf das Fehlermachen beschreiben, sowie Aussagen zur Aufrechterhaltung von Lernfreude und Lernmotivation, z. B. auch Aussagen zu Enttäuschung, Erschöpfung, Frustration und Verzweiflung, aber auch dazu, dass man motiviert bleiben oder gehen mit den Fehlern umgehen soll.</p>	<p>Aber man sollte damit wahrscheinlich eher gelassen umgehen, weil die Fehler kann man natürlich beheben (I28_NE02, Pos. 38). Oder wenn es andere Fehler sind, dann denke ich, wäre ich irgendwann mal schnell erschöpft und würde nicht mehr so mögen (I14_SE25, Pos. 39).</p>

Kategorien und Subkategorien	Definition	Ankerbeispiele
Behavioral	Alle Aussagen, die ein Verhalten, also eine Handlung beschreiben, z. B. Fehler suchen, analysieren, mit anderen Wissenschaftler*innen besprechen, akzeptieren, verbessern, weiterarbeiten und Fehler das nächste Mal verhindern.	Also ich würde es nochmals anschauen, schauen, schauen, was ich falsch gemacht habe (I27_S010, Pos. 46). Und dann einfach an diesen Fehlern weiterarbeiten, weil man einfach so nicht zum Resultat kommt. Ja (I8_CH06, Pos. 39).
Negativer Umgang	Wenn ein negativer Umgang mit Fehlern beschrieben.	Boah, als Wissenschaftler, also als Wissenschaftler, vielleicht ist es auch ein bisschen verantwortungslos, wenn da jetzt wirklich ein Fehler passieren sollte, dass dann nicht der Hersteller, sondern der Wissenschaftler schuld ist. Weil die das ja auch testen und alles. Ähm, ja, ich denke fast ein bisschen verantwortungslos, weiß nicht, ob man das so ausdrücken kann, aber ich glaube fast ein bisschen verantwortungslos, wenn dann ein Unfall passiert oder sonst was, ja, dann ist man als Wissenschaftler schon nicht gerade so, ähm, auf einem positiven Stand (I25_RO17, Pos. 40).

Kriterienraster Punktevergabe Quantifizierung Interviews

Aspekte	Kriterien	Punkte
Aspekte zum Vorgehen beim naturwissenschaftlichen Arbeiten	Fehler werden konkret erwähnt	2
	Fehler werden indirekt erwähnt	1
	Fehler werden nicht erwähnt	0
Gründe für Fehler (Warum)	Gründe aus drei oder mehr Subkategorien werden genannt <ul style="list-style-type: none"> - Wissen/Können - Rechenfehler - Flüchtigkeitsfehler - Zusammenarbeit - Material - Programmierung - Herstellung - Testen - Sabotage 	2
	Gründe aus zwei Subkategorien werden genannt <ul style="list-style-type: none"> - Wissen/Können - Rechenfehler - Flüchtigkeitsfehler - Zusammenarbeit - Material - Programmierung - Herstellung - Testen - Sabotage 	1
	Gründe aus keiner oder einer Subkategorien werden genannt <ul style="list-style-type: none"> - Wissen/Können - Rechenfehler - Flüchtigkeitsfehler - Zusammenarbeit - Material - Programmierung - Herstellung - Testen - Sabotage 	0

Aspekte	Kriterien	Punkte
Momente, Fehler im Prozess (Wo)	Drei oder mehr Momente werden aufgezählt <ul style="list-style-type: none"> – Fehler passieren überall – Recherche – Erkenntnisgewinnung – Planen – Materialeinkauf – Ausprobieren/ Experimentieren – Herstellung – Programmierung – Testen – Endprodukt 	2
	Ein bis zwei Momente werden aufgezählt <ul style="list-style-type: none"> – Fehler passieren überall – Recherche – Erkenntnisgewinnung – Planen – Materialeinkauf – Ausprobieren/ Experimentieren – Herstellung – Programmierung – Testen – Endprodukt 	1
	Fehler können in einem gewissen Moment nicht passieren	0
Fehler beim Experimentieren	Es werden Fehler genannt, die sich auf zwei oder drei Momente beziehen <ul style="list-style-type: none"> – Planung – Durchführung – Auswertung 	2
	Es wird ein Fehler genannt, der sich auf eine falsche Planung, Umsetzung oder Auswertung bezieht <ul style="list-style-type: none"> – Planung – Durchführung – Auswertung 	1
	Es passieren keine oder wenige Fehler oder Aussage „weiß nicht“ <ul style="list-style-type: none"> – Planung – Durchführung – Auswertung 	0

Aspekte	Kriterien	Punkte
Entstehung Beobachtungsfehler	Keine falsche Aussage und rein menschlicher oder menschlicher Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Grund	2
	Falsche Aussage und rein menschlicher oder menschlicher Grund in Kombination mit einem sachlichen/materiellen Grund	1
	Keine Idee oder falsche Aussagen	0
Umgang von Wissenschaftler*innen mit Fehlern	Der Umgang mit Fehlern wird relativiert und auf zwei oder drei Ebenen beschrieben (affektiv-motivational, kognitiv, behavioral) Es dürfen auch negative Gefühle beschrieben werden, sofern der Umgang danach positiv beschrieben wird	2
	Der Umgang mit Fehlern wird relativiert und auf einer Ebene beschrieben (affektiv-motivational, kognitiv oder behavioral) Es dürfen auch negative Gefühle beschrieben werden, sofern der Umgang danach positiv beschrieben wird	1
	Es wird ein absolut negativer Umgang mit Fehlern beschrieben	0

Bisher erschienene Bände der Reihe „*Studien zum Physik- und Chemielernen*“

ISSN 1614-8967 (vormals *Studien zum Physiklernen* ISSN 1435-5280)

- 1 Helmut Fischler, Jochen Peuckert (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie
ISBN 978-3-89722-256-4 40.50 EUR
- 2 Anja Schoster: Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. *Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR
- 3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR
- 4 Susanne Haerberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR
- 5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR
- 6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR
- 7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR
- 8 Lorenz Hucke: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR
- 9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR
- 10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR
- 11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

- 12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR
- 13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR
- 14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR
- 15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR
- 16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR
- 17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR
- 18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR
- 19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR
- 20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR
- 23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR

- 24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR
- 25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR
- 26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR
- 27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR
- 28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR
- 29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR
- 30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR
- 31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR
- 32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR
- 33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR
- 34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrvorstellungen zum Experiment im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR
- 36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR
- 37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

- 38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker
ISBN 978-3-8325-0762-6 40.50 EUR
- 39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*
ISBN 978-3-8325-0827-2 40.50 EUR
- 40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-8325-0875-3 40.50 EUR
- 41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*
ISBN 978-3-8325-0911-8 40.50 EUR
- 42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-0975-0 40.50 EUR
- 43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*
ISBN 978-3-8325-1013-8 40.50 EUR
- 44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-1020-6 40.50 EUR
- 45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik
ISBN 978-3-8325-1027-5 40.50 EUR
- 46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM
ISBN 978-3-8325-1046-6 45.50 EUR
- 47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*
ISBN 978-3-8325-1046-6 40.50 EUR
- 48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff
ISBN 978-3-8325-1104-3 40.50 EUR
- 49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback
ISBN 978-3-8325-1184-5 40.50 EUR
- 50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-1225-5 34.90 EUR
- 51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1238-5 40.50 EUR

- 52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR
- 53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR
- 54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR
- 55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR
- 56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR
- 57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR
- 58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR
- 59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR
- 60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR
- 61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR
- 62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR
- 63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

- 64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR
- 65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR
- 66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR
- 67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR
- 68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR
- 69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR
- 70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR
- 71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR
- 72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR
- 73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR
- 74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR
- 75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR
- 76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

- 77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR
- 78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR
- 79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR
- 80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR
- 81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR
- 82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR
- 83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR
- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR

- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR
- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR

- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR
- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern
ISBN 978-3-8325-3161-4 45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*
ISBN 978-3-8325-3213-0 40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3218-5 45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*
ISBN 978-3-8325-3238-3 41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3275-8 40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3277-2 37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*
ISBN 978-3-8325-3284-0 39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*
ISBN 978-3-8325-3251-2 43.00 EUR

- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR
- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerrepräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasixperimentelle Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR
- 156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR
- 157 Alexander Rachel: Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. *Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-3548-3 43.50 EUR
- 158 Sebastian Ritter: Einfluss des Lerninhalts Nanogrößeneffekte auf Teilchen- und Teilchenmodellvorstellungen von Schülerinnen und Schülern
ISBN 978-3-8325-3558-2 36.00 EUR
- 159 Andrea Harbach: Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben
ISBN 978-3-8325-3564-3 39.00 EUR
- 160 David Obst: Interaktive Tafeln im Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*
ISBN 978-3-8325-3582-7 40.50 EUR
- 161 Sophie Kirschner: Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-3601-5 35.00 EUR
- 162 Katja Stief: Selbstregulationsprozesse und Hausaufgabenmotivation im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3631-2 34.00 EUR
- 163 Nicola Meschede: Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung*
ISBN 978-3-8325-3668-8 37.00 EUR
- 164 Johannes Maximilian Barth: Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*
ISBN 978-3-8325-3681-7 39.00 EUR
- 165 Sandra Lein: Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. *Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3698-5 40.00 EUR
- 166 Veranika Maiseyenka: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

- 167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR
- 168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*
ISBN 978-3-8325-3717-3 37.50 EUR
- 169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3727-2 39.50 EUR
- 170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln.
Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung
ISBN 978-3-8325-3750-0 41.50 EUR
- 171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen
ISBN 978-3-8325-3785-2 43.00 EUR
- 172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*
ISBN 978-3-8325-3801-9 43.00 EUR
- 173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik
ISBN 978-3-8325-3829-3 38.00 EUR
- 174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*
ISBN 978-3-8325-3846-0 50.50 EUR
- 175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3859-0 37.00 EUR
- 176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter_innen der Sekundarstufenlehrämter*
ISBN 978-3-8325-3861-3 45.00 EUR
- 177 Andreas Nehring: Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-3872-9 39.50 EUR
- 178 Maike Schmidt: Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“
ISBN 978-3-8325-3907-8 38.50 EUR

- 179 Jan Winkelmann: Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3915-3 41.00 EUR
- 180 Iwen Kobow: Entwicklung und Validierung eines Testinstrumentes zur Erfassung der Kommunikationskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3927-6 34.50 EUR
- 181 Yvonne Gramzow: Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion
ISBN 978-3-8325-3931-3 42.50 EUR
- 182 Evelin Schröter: Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-3975-7 54.50 EUR
- 183 Inga Kallweit: Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*
ISBN 978-3-8325-3965-8 44.00 EUR
- 184 Andrea Schumacher: Paving the way towards authentic chemistry teaching. *A contribution to teachers' professional development*
ISBN 978-3-8325-3976-4 48.50 EUR
- 185 David Woitkowski: Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung. *Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*
ISBN 978-3-8325-3988-7 53.00 EUR
- 186 Marianne Korner: Cross-Age Peer Tutoring in Physik. *Evaluation einer Unterrichtsmethode*
ISBN 978-3-8325-3979-5 38.50 EUR
- 187 Simone Nakoinz: Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4057-9 38.50 EUR
- 188 Sandra Anus: Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht. *Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*
ISBN 978-3-8325-4059-3 43.50 EUR
- 189 Thomas Roßbegalle: Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. *Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4059-3 45.50 EUR
- 190 Kathrin Steckenmesser-Sander: Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikbezogener Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Mädchen und Jungen
ISBN 978-3-8325-4066-1 38.50 EUR
- 191 Cornelia Geller: Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb. *Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz*
ISBN 978-3-8325-4082-1 35.50 EUR

- 192 Jan Hofmann: Untersuchung des Kompetenzaufbaus von Physiklehrkräften während einer Fortbildungsmaßnahme
ISBN 978-3-8325-4104-0 38.50 EUR
- 193 Andreas Dickhäuser: Chemiespezifischer Humor. *Theoriebildung, Materialentwicklung, Evaluation*
ISBN 978-3-8325-4108-8 37.00 EUR
- 194 Stefan Korte: Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts
ISBN 978-3-8325-4112-5 57.50 EUR
- 195 Carolin Hülsmann: Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe
ISBN 978-3-8325-4144-6 49.00 EUR
- 196 Caroline Körbs: Mindeststandards im Fach Chemie am Ende der Pflichtschulzeit
ISBN 978-3-8325-4148-4 34.00 EUR
- 197 Andreas Vorholzer: Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? *Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*
ISBN 978-3-8325-4194-1 37.50 EUR
- 198 Anna Katharina Schmitt: Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-4228-3 39.50 EUR
- 199 Christian Maurer: Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen
ISBN 978-3-8325-4247-4 36.50 EUR
- 200 Helmut Fischler, Elke Sumfleth (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik
ISBN 978-3-8325-4523-9 34.00 EUR
- 201 Simon Zander: Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen
ISBN 978-3-8325-4248-1 35.00 EUR
- 202 Kerstin Arndt: Experimentierkompetenz erfassen. *Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4266-5 45.00 EUR
- 203 Christian Lang: Kompetenzorientierung im Rahmen experimentalchemischer Praktika
ISBN 978-3-8325-4268-9 42.50 EUR
- 204 Eva Cauet: Testen wir relevantes Wissen? *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*
ISBN 978-3-8325-4276-4 39.50 EUR
- 205 Patrick Löffler: Modellanwendung in Problemlöseaufgaben. *Wie wirkt Kontext?*
ISBN 978-3-8325-4303-7 35.00 EUR

- 206 Carina Gehlen: Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4318-1 43.00 EUR
- 207 Lars Oettinghaus: Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. *Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*
ISBN 978-3-8325-4319-8 38.50 EUR
- 208 Jennifer Petersen: Zum Einfluss des Merkmals Humor auf die Gesundheitsförderung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Eine Interventionsstudie zum Thema Sonnenschutz*
ISBN 978-3-8325-4348-8 40.00 EUR
- 209 Philipp Straube: Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-4351-8 35.50 EUR
- 210 Martin Dickmann: Messung von Experimentierfähigkeiten. *Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-4356-3 41.00 EUR
- 211 Markus Bohlmann: Science Education. Empirie, Kulturen und Mechanismen der Didaktik der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4377-8 44.00 EUR
- 212 Martin Draude: Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-4382-2 37.50 EUR
- 213 Henning Rode: Prototypen evidenzbasierten Physikunterrichts. *Zwei empirische Studien zum Einsatz von Feedback und Blackboxes in der Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-4389-1 42.00 EUR
- 214 Jan-Henrik Kechel: Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. *Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*
ISBN 978-3-8325-4392-1 55.00 EUR
- 215 Katharina Fricke: Classroom Management and its Impact on Lesson Outcomes in Physics. *A multi-perspective comparison of teaching practices in primary and secondary schools*
ISBN 978-3-8325-4394-5 40.00 EUR
- 216 Hannes Sander: Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. *Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft*
ISBN 978-3-8325-4434-8 46.00 EUR
- 217 Inka Haak: Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. *Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*
ISBN 978-3-8325-4437-9 46.50 EUR

- 218 Martina Brandenburger: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?
Eine Untersuchung mit Studierenden
ISBN 978-3-8325-4409-6 42.50 EUR
- 219 Corinna Helms: Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle
ISBN 978-3-8325-4454-6 42.50 EUR
- 220 Viktoria Rath: Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*
ISBN 978-3-8325-4456-0 42.50 EUR
- 221 Janne Krüger: Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4457-7 45.50 EUR
- 222 Stefan Mutke: Das Professionswissen von Chemiereferendarinnen und -referendaren in Nordrhein-Westfalen. *Eine Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-4458-4 37.50 EUR
- 223 Sebastian Habig: Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren
ISBN 978-3-8325-4467-6 40.50 EUR
- 224 Sven Liepertz: Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung
ISBN 978-3-8325-4480-5 34.00 EUR
- 225 Elina Platova: Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung
ISBN 978-3-8325-4481-2 39.00 EUR
- 226 Tim Reschke: Lese Geschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg
ISBN 978-3-8325-4487-4 41.00 EUR
- 227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*
ISBN 978-3-8325-4495-9 43.00 EUR
- 228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-4498-0 39.50 EUR
- 229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*
ISBN 978-3-8325-4504-8 44.00 EUR
- 230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik
ISBN 978-3-8325-4531-4 43.50 EUR

- 231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?
Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR
- 232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsdiagnoseinstruments*
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR
- 233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR
- 234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR
- 235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR
- 236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR
- 237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR
- 238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR
- 239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR
- 240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR
- 241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR
- 242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

- 243 Katrin Schüßler: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*
ISBN 978-3-8325-4640-3 42.50 EUR
- 244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen
ISBN 978-3-8325-4642-7 46.50 EUR
- 245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*
ISBN 978-3-8325-4647-2 39.00 EUR
- 246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika
ISBN 978-3-8325-4590-1 40.00 EUR
- 247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry
ISBN 978-3-8325-4591-8 35.50 EUR
- 248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4593-2 44.00 EUR
- 249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*
ISBN 978-3-8325-4618-2 36.00 EUR
- 250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps
ISBN 978-3-8325-4655-7 37.50 EUR
- 251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien*
ISBN 978-3-8325-4659-5 38.50 EUR
- 252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-4675-5 36.50 EUR
- 253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*
ISBN 978-3-8325-4676-2 41.00 EUR
- 254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*
ISBN 978-3-8325-4685-4 38.50 EUR
- 255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*
ISBN 978-3-8325-4691-5 46.50 EUR

- 256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern
ISBN 978-3-8325-4712-7 47.00 EUR
- 257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht
ISBN 978-3-8325-4713-4 53.50 EUR
- 258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-4723-3 49.00 EUR
- 259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells
ISBN 978-3-8325-4726-4 57.50 EUR
- 260 Frank Finkenberg: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignetten-tests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-4804-9 37.00 EUR
- 265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4805-6 42.00 EUR
- 266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4808-7 50.00 EUR
- 267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler
ISBN 978-3-8325-4781-3 38.00 EUR
- 268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*
ISBN 978-3-8325-4814-8 43.50 EUR

- 269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt „Photon“ mit Realexperimenten*
ISBN 978-3-8325-4792-9 55.00 EUR
- 270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*
ISBN 978-3-8325-4825-4 43.50 EUR
- 271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4846-9 45.00 EUR
- 272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*
ISBN 978-3-8325-4857-5 37.50 EUR
- 273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*
ISBN 978-3-8325-4859-9 35.00 EUR
- 274 Jennifer Dörschelln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-4865-0 59.00 EUR
- 275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4881-0 40.50 EUR
- 276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-4928-2 50.50 EUR
- 277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4933-6 39.00 EUR
- 278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*
ISBN 978-3-8325-4958-9 40.00 EUR
- 279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*
ISBN 978-3-8325-4962-6 39.50 EUR
- 280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*
ISBN 978-3-8325-4982-4 42.50 EUR

- 281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4991-6 38.00 EUR
- 282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4996-1 50.50 EUR
- 283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-5002-8 42.50 EUR
- 284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab
ISBN 978-3-8325-5004-2 41.50 EUR
- 285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-5013-4 37.50 EUR
- 286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*
ISBN 978-3-8325-5016-5 44.00 EUR
- 287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-5020-2 49.00 EUR
- 288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*
ISBN 978-3-8325-5025-7 47.00 EUR
- 289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor
ISBN 978-3-8325-5033-2 52.00 EUR
- 290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*
ISBN 978-3-8325-5036-3 49.50 EUR
- 291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*
ISBN 978-3-8325-5047-9 46.50 EUR
- 292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*
ISBN 978-3-8325-5055-4 41.00 EUR

- 293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*
ISBN 978-3-8325-5065-3 57.50 EUR
- 294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur
ISBN 978-3-8325-5074-5 49.00 EUR
- 295 Lisanne Kraeva: Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5110-0 59.50 EUR
- 296 Jenny Lorentzen: Entwicklung und Evaluation eines Lernangebots im Lehramtsstudium Chemie zur Förderung von Vernetzungen innerhalb des fachbezogenen Professionswissens
ISBN 978-3-8325-5120-9 39.50 EUR
- 297 Micha Winkelmann: Lernprozesse in einem Schülerlabor unter Berücksichtigung individueller naturwissenschaftlicher Interessenstrukturen
ISBN 978-3-8325-5147-6 48.50 EUR
- 298 Carina Wöhlke: Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Physiklehrkräfte
ISBN 978-3-8325-5149-0 43.00 EUR
- 299 Thomas Schubatzky: Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. *Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*
ISBN 978-3-8325-5159-9 50.50 EUR
- 300 Amany Annaggar: A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR
- 301 Alexander Engl: CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: *Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“*
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR
- 302 Christin Marie Sajons: Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. *Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln*
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR
- 303 Philipp Bitzenbauer: Quantenoptik an Schulen. *Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR
- 304 Malte S. Ubben: Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR
- 305 Wiebke Kuske-Janßen: Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR

- 306 Kai Bliesmer: Physik der Küste für außerschulische Lernorte. *Eine Didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR
- 307 Nikola Schild: Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR
- 308 Daniel Averbeck: Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. *Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR
- 309 Martina Strübe: Modelle und Experimente im Chemieunterricht. *Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln*
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker: Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost: 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
- 312 Christina Kobl: Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR
- 313 Ann-Kathrin Beretz: Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts – *eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik*
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR
- 314 Judith Breuer: 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
- 315 Michaela Oettle: Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. *Eine Delphi-Studie*
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR
- 316 Volker Brüggemann: Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR
- 317 Stefan Müller: 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: Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR

- 319 Lars Ehlert: Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten
ISBN 978-3-8325-5393-71 41.50 EUR
- 320 Florian Seiler: Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR
- 321 Nadine Boele: 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: Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß: 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: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. *Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts*
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.00 EUR
- 325 Kübra Nur Celik: 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: 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: 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: Schülerlabore als interesselördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth: Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna: 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: 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: 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
- 333 Erik Heine: Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. *Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehrerstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie*
ISBN 978-3-8325-5478-1 48.50 EUR
- 334 Simon Goertz: 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: 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
- 336 Alina Behrendt: 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
- 337 Manuel Daiber: Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik *Formuliert mit In-Out Symbolen*
ISBN 978-3-8325-5507-8 48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak: Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten *Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management*
ISBN 978-3-8325-5508-5 46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka: Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht
ISBN 978-3-8325-5514-6 69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff: Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln
ISBN 978-3-8325-5522-1 39.00 EUR
- 341 Thomas Christoph Münster: Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler*innen? Eine Videostudie zur Mechanik
ISBN 978-3-8325-5534-4 44.50 EUR
- 342 Ines Komor: Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie
ISBN 978-3-8325-5546-7 46.50 EUR
- 343 Verena Petermann: 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

- 344 Jana Heinze: Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR
- 345 Jannis Weber: Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR
- 346 Fabian Sterzing: 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
- 347 Lars Greitemann: 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: Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr: 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: Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave: Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen *Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modell-komponenten für den Fachbereich Chemie*
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer: Experimentelle Kompetenz Physikstudierender *Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden*
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR
- 353 Jan Schröder: Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5655-9 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach: Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege *Ein Beitrag zur Standardentwicklung*
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR
- 355 Livia Murer: Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten *Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR

- 356 Andrea Maria Schmid: Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen *Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik*
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR
- 357 Julia Ortmann: Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR
- 358 Axel-Thilo Prokop: Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität *Eine didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann: Textverständlichkeit sprachlich variiertes physikbezogener Sachtexte
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR
- 360 Dennis Dietz: 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: Vielfalt im Physikunterricht *Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten*
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR
- 362 Simon Kaulhausen: Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR
- 363 Julia Eckoldt: 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
- 364 Albert Teichrew: Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR
- 365 Sascha Neff: Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis *Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation*
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR
- 366 Rahel Schmid: 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
- 367 Dennis Kirstein: 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 52.50 EUR

- 368 Frauke Düwel: Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten *Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung*
ISBN 978-3-8325-5731-7 63.00 EUR
- 369 Fabien Güth: Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variiertes Kontextaufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR
- 370 Oliver Grewe: 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
- 371 Anna Nowak: Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht *Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ*
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR
- 372 Dominique Angela Holland: 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
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes: 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
- 374 Mats Kieserling: 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: Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-5787-4 49.00 EUR
- 376 Novid Ghassemi: 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

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

Fehler sind integraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und dienen der Konsolidierung des Wissens. Sie ermöglichen beispielsweise die Reflexion über naturwissenschaftliche Praxis oder stellen eine Quelle für die Falsifizierbarkeit des naturwissenschaftlichen Wissens dar. Ein adäquates Verständnis von Nature of Science (NOS) umfasst das Wissen um Fehler. In der vorliegenden Studie wird der bisher wenig empirisch eruierte Zusammenhang zwischen dem Verständnis von NOS und dem Umgang mit Fehlern untersucht.

In einer Interventionsstudie im Schülerlabor Smartfeld wurden mittels eines Mixed-Methods-Designs $N = 269$ Schüler*innen der Sekundarstufe I (7.-9. Klasse) aus der Ostschweiz in einem Prä-Post-Follow-Up-Design zu ihrer Einschätzung von Fehlern als Lerngelegenheit, zu ihren affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler sowie zu ihrem Verständnis von NOS-Aspekten befragt.

Es zeigt sich, dass das Verständnis von NOS-Aspekten beide Skalen zu Fehlern beeinflusst. Die Intervention zeigte zeitverzögerte Effekte auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler und auf das Verständnis von NOS-Aspekten.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass ein adäquates Verständnis von NOS-Aspekten einen konstruktiven Umgang mit Fehlern begünstigt. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit Fehlern und der Bedeutung und Stellung der Fehler in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung fördert sowohl ein adäquates Verständnis von NOS als auch den Umgang mit Fehlern.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5722-5