



Band 17

Lernen in Naturwissenschaften

A. Marohn (Hrsg.)

verstehen und entwickeln

Fabienne Elisabeth Kremer

Die Bereitstellungsform als Stellschraube im digital gestützten Unterricht?

Eine Beurteilung von BYOD und Pool aus didaktischer Perspektive

λογος

Lernen in
Naturwissenschaften
Band 17

Lernen in Naturwissenschaften

Band 17

Herausgegeben von

Prof. Dr. Annette Marohn

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Didaktik der Chemie

Fabienne Elisabeth Kremer

Die Bereitstellungsform als Stellschraube im digital gestützten Unterricht?

Eine Beurteilung von BYOD und Pool
aus didaktischer Perspektive

Logos Verlag Berlin



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>). Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Logos Verlag Berlin GmbH 2026

ISBN 978-3-8325-6031-7

ISSN 2566-493X

DOI 10.30819/6031

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

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

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

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

Universität Münster
Institut für Didaktik der Chemie

**Die Bereitstellungsform als Stellschraube
im digital gestützten Unterricht?**
Eine Beurteilung von BYOD und Pool
aus didaktischer Perspektive

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades in Erziehungswissenschaften

vorgelegt von

Fabienne Elisabeth Kremer

Erstgutachterin:

Prof. Dr. Annette Marohn

Universität Münster - Institut für Didaktik der Chemie

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Susanne Monika Heinicke

Universität Münster - Institut für Didaktik der Physik

Tag der mündlichen Prüfung:

02. September, 2025

Münster, 2025

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit vergleicht die Bereitstellungsformen Bring Your Own Device (BYOD) und Gerätepool (Pool) aus didaktischer Perspektive. Die Lernwirksamkeit der Unterrichtsgestaltung ist dabei zentral. Im Rahmen der Analyse wird evaluiert, inwiefern die Bereitstellungsform als Stellschraube für den digital gestützten Unterricht betrachtet werden kann.

Das zugrunde liegende Forschungsinteresse ist durch den Nutzen digitaler Lernmedien motiviert. Gemäß politischen Leitlinien (s. KMK, 2022) sollen sie im Unterricht zum Erwerb digitaler Kompetenzen, zur Aneignung von fachbezogenem Wissen, zur Individualisierung und zum Abbau von Lernbarrieren eingesetzt werden. Wie die dafür notwendigen digitalen Endgeräte bereitgestellt werden sollen, bleibt jedoch offen.

Für die Bereitstellung digitaler Endgeräte gibt es ein breites Spektrum an Konzepten (Krause, 2022). Die aus didaktischer Perspektive notwendigen Informationen für die Auswahl eines Konzepts sind bislang jedoch nicht verfügbar. Diese Forschungslücke bildet den Ausgangspunkt des Forschungsverbundprojekts *smart for science* und der vorliegenden Arbeit.

Das Verbundprojekt widmet sich dem Vergleich der Bereitstellungsformen BYOD und Pool auf Basis lernrelevanter Merkmale. Die zugrunde liegende Datenerhebung basiert auf einem quasi-experimentellen Design. Lernende der achten und neunten Klasse wurden jeweils auf zwei experimentelle Bedingungen verteilt. In der BYOD-Bedingung führten sie einen digital gestützten Workshop mit ihren persönlichen Smartphones durch. In der Pool-Bedingung führten sie denselben Workshop mit Smartphones durch, die vom Forschungsteam bereitgestellt wurden. Die Workshops wurden durch eine Datenerhebung ergänzt, die sowohl Paper-Pencil-Befragungen als auch Videoaufzeichnungen beinhaltet.

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen dieses Verbundprojekts entstanden. Dessen Mitgestaltung und Durchführung sind Teil der hier vorgestellten Promotionsleistung. Diese umfasst unter anderem die Konzeption digitaler Lern-

medien und eines Workshops. Die fachlichen und didaktischen Überlegungen dieser Konzeption werden ausführlich in Kapitel 3 beschrieben.

Die Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen BYOD und Pool erfolgt hier in drei aufeinanderfolgenden Studien. Darin werden ausschließlich Daten verwendet, die dem Fach Chemie zuzuordnen sind. Studie I (s. Kapitel 5) umfasst eine statistische Analyse der Prä- und Post-Fachwissenstests. Diese Analyse weist hohe mittlere Fachwissenszuwächse in beiden Bereitstellungsbedingungen nach. Im Einklang mit den Ergebnissen weiterer Projektmitglieder von *smart for science* (s. Krause, 2022; Krause et al., 2022; Krause et al., 2024; Lauermann et al., 2024) konnten keine signifikanten Unterschiede im Fachwissenszuwachs identifiziert werden, die auf die Existenz grundlegender Unterschiede in der Lernwirksamkeit der Bereitstellungsformen schließen lassen.

Das Ausbleiben signifikanter Unterschiede im Fachwissenszuwachs wird in zwei Folgestudien näher untersucht. In Studie II (s. Kapitel 6) erfolgt eine Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen auf Grundlage des nicht-lernbezogenen Verhaltens. Im Rahmen einer vergleichenden Fallstudie nach Yin (2018) wird untersucht, ob persönliche Endgeräte im Vergleich zu temporär ausgehändigten Endgeräten ein höheres motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Nutzung bieten. Die hierzu betrachteten Verhaltensmuster zeigen deutliche individuelle Unterschiede. Sie geben keinen Anhaltspunkt für die Annahme, dass das nicht-lernbezogene Verhalten bereitstellungsspezifisch ist.

In Studie III (s. Kapitel 7) wird der Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und dem Fachwissenszuwachs analysiert. Die betrachteten Datenpunkte zeigen einen Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs, jedoch keinen Zusammenhang zwischen der allgemeinen Distraction und dem Fachwissenszuwachs oder zwischen den Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs. Das Ergebnis lässt darauf schließen, dass nicht alle Formen des nicht-lernbezogenen Verhaltens in gleicher Weise zu beurteilen sind.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht darauf hin, dass die Bereitstellungsform aus didaktischer Perspektive eine Stellschraube für den digital gestützten Unterricht darstellt. Es wird daher empfohlen, Entscheidungen über die zu etablierenden Konzepte auf Basis der vielfältigen finanziellen (s. Bruder, 2014; Dixon & Tierney, 2012; Johnson, 2012; Nelson, 2012), sozialen (s. Parsons & Adhikari, 2016), gesundheitlichen (s. Merga,

2016) und organisatorischen (s. Burden et al., 2012; Maher & Twining, 2017; Nuholu Kibar et al., 2020) Vor- und Nachteile zu treffen, die mit den jeweiligen Bereitstellungsformen verbunden sind.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meiner Doktormutter *Prof. Dr. Annette Marohn*, die mir den Weg in die Wissenschaft geebnet und mich auf diesem Weg stetig und souverän begleitet hat. Durch ihre konstruktive Beratung hat sie maßgeblich zur Entwicklung dieser Arbeit beigetragen. Ihre Überzeugung und Motivation waren dabei stets spürbar. Sowohl fachlich als auch menschlich war sie mir eine wichtige Stütze, wofür ich ihr von Herzen dankbar bin.

Mein Dank gilt außerdem den Mitgliedern des Forschungsverbundprojekts *smart for science*, die diese Arbeit durch ihre Mitwirkung und ihr Engagement unterstützt haben. An dieser Stelle möchte ich *Dr. Malte Ubben*, *Maurice Krause* und *Barbara Leibrock* hervorheben, deren hilfsbereite und lösungsorientierte Zusammenarbeit eine wichtige Grundlage für diese Arbeit bildete und deren kollegialer Umgang das Projekt zu einem echten Gemeinschaftsvorhaben gemacht hat. Herzlich danke ich auch Frau *Prof. Dr. Susanne M. Heinicke*, die sich ohne Zögern bereit erklärt hat, meine Dissertation als Zweitprüferin zu begutachten.

Weiterhin möchte ich den Mitgliedern des *Instituts für Didaktik der Chemie* danken, die diese Arbeit sowohl organisatorisch unterstützt als auch durch hilfreiche Anregungen weitergebracht haben. In diesem Zusammenhang gilt mein besonderer Dank *Steffen Röwekamp*, der die Entwicklung der experimentellen Workshopeinheit unterstützt hat. Mein besonderer Dank gilt weiterhin *Maren Liebrecht* und *Sophia-Charlotte Timmer*, die tatkräftig an den Datenerhebungen mitgewirkt haben.

Herzlichst möchte ich außerdem meiner Familie danken, die mich auf meinem Weg zu dieser Arbeit begleitet und stets in meinen Vorhaben bestärkt hat. Besonders danke ich auch meinen weiteren Lieben, die diese Arbeit beratend unterstützt und mich während der Promotion begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Notwendigkeit digitaler Endgeräte im Unterricht	1
1.2	Die Bereitstellungsform als Stellschraube im Unterricht	3
1.2.1	Begriffsdefinitionen	3
1.2.2	Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen BYOD und Pool	4
1.3	Forschungsinteressen	7
2	Theoretischer Hintergrund	11
2.1	Distraction	11
2.1.1	Begriffsdefinition	11
2.1.2	Empirische Studien über das Auftreten von Distraction in Lernsituationen	13
	Zusammenhang mit persönlichen Merkmalen	15
	Zusammenhang mit kontextuellen Merkmalen	17
2.1.3	Motivationspsychologische Betrachtung der Ursachen von Distraction in Lernsituationen	18
2.1.4	Empirische Studien über die Auswirkung von Distraction auf die Lernleistung	21
2.1.5	Kognitionspsychologische Betrachtung der Auswirkung von Distraction auf die Lernleistung	25
2.2	Leerlauf-Tätigkeiten	29
2.2.1	Begriffsdefinition	30
2.2.2	Empirische Studien über die Auswirkungen von Leerlauf- Tätigkeiten	31
3	Datenerhebung	35
3.1	Teilnehmende	35

3.2	Ablauf und Design	36
3.3	Erhebungsinstrumente und -technik	40
3.3.1	Paper-Pencil-Befragungen	40
3.3.2	Videographie	46
3.4	Digitale Lernmedien	47
3.4.1	Lernvideo über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen- Legierungsakkumulators	47
	Fachwissenschaftlicher Hintergrund	48
	Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung	51
3.4.2	Simulation der Reichweite eines Elektroautos	55
	Fachwissenschaftlicher Hintergrund	55
	Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung	57
3.4.3	Erklärtex te über den Einfluss ausgewählter Reichweite- faktoren	60
	Fachwissenschaftlicher Hintergrund	61
	Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung	62
3.5	Digital gestützter Workshop	62
3.6	Datenaufbereitung	70
4	Methodentheorie	73
4.1	Statistik	73
4.2	Vergleichende Fallanalyse nach Yin	74
4.3	Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring	76
5	Studie I: Auswirkung von BYOD und Pool auf die Lernleistung	81
5.1	Konkretisierung der Forschungsfragen	81
5.2	Konkretisierung der angewandten Methodik	83
5.2.1	Stichprobe	83
5.2.2	Auswahl und Anwendung statistischer Verfahren	84
5.2.3	Prüfung und Erhalt erforderlicher Voraussetzungen	85
5.3	Ergebnisse	86
5.3.1	Aufgabenübergreifende Analyse	86
5.3.2	Aufgabenspezifische Analyse	91
5.3.3	Aufgabenübergreifende Analyse von merkmalspezifischen Teilstichproben	94
5.3.4	Post-hoc-Analyse	100

5.4	Diskussion	100
6	Studie II: Auswirkung von BYOD und Pool auf das nicht-lernbezogene Verhalten	109
6.1	Konkretisierung der Forschungsfragen	109
6.2	Konkretisierung der angewandten Methodik	113
6.2.1	Auswahlschema zur Stichprobenziehung	114
6.2.2	Stichprobe	116
6.2.3	Auswahl und Anwendung des Analyseverfahrens	117
6.3	Ergebnisse	125
6.3.1	Fall 1: BYOD	125
6.3.2	Fall 2: Pool	138
6.4	Diskussion	153
6.4.1	Fall 1: BYOD	154
6.4.2	Fall 2: Pool	157
6.4.3	Fallübergreifender Vergleich	159
6.4.4	Limitationen und Ausblick	161
7	Studie III: Zusammenhang zwischen nicht-lernbezogenem Verhalten und Lernleistung	165
7.1	Konkretisierung der Forschungsfragen	166
7.2	Konkretisierung der angewandten Methodik	168
7.2.1	Stichprobe	168
7.2.2	Auswahl und Anwendung statistischer Verfahren	168
7.2.3	Prüfung und Erhalt erforderlicher Voraussetzungen	169
7.3	Ergebnisse	171
7.3.1	Hauptanalyse	171
7.3.2	Post-hoc-Analyse	173
7.4	Diskussion	175
8	Allgemeine Diskussion	181
	Verzeichnisse	189
	Literaturverzeichnis	189
	Abkürzungsverzeichnis	216
	Abbildungsverzeichnis	217

Tabellenverzeichnis	221
Anhang	223
Workbook mit integrierten Erhebungsinstrumenten	225
Vorschrift zum Modellexperiment	241
Testheft 1	243
Testheft 3.C	250
Testheft 4.C	254
Testheft 5.C	259
Sensitivitätsanalyse	262
Fachinterner Codierleitfaden	264

1 Einleitung

1.1 Die Notwendigkeit digitaler Endgeräte im Unterricht

Der Einsatz digitaler Endgeräte im Unterricht dient dem Zugriff auf digitale Lernmaterialien. Die Notwendigkeit von Smartphones, Tablets und Co. ist somit an den Nutzen digitaler Medien und Werkzeuge für das Lernen geknüpft. Dieser ist, wie verschiedene Autoren (s. bspw. Bertelsmann Stiftung, 2019; Stinken-Rösner & Abels, 2021) anmerken, von der Art ihrer Implementierung abhängig. Das Potenzial digitaler Unterrichtselemente ist angesichts ihrer vielfältigen Funktionen jedoch groß. Gemäß den in Deutschland geltenden politischen Richtlinien (s. KMK, 2022) sollen sie dem Erwerb digitaler Kompetenzen, der Aneignung von fachbezogenem Wissen, der Individualisierung und dem Abbau von Lernbarrieren dienen.

Der Erwerb digitaler Kompetenzen hat im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung einen besonderen Stellenwert. Er gilt als Voraussetzung, die Risiken von Digitalität zu minimieren (s. Bertelsmann Stiftung, 2019) und die gesellschaftliche Teilhabe zu ermöglichen (s. KMK, 2017). Dass digitale Kompetenzen gezielt gefördert werden müssen, ergibt sich aus wissenschaftlichen Erkenntnissen zu deren unzureichender Ausprägung. So weisen verschiedene Autoren (s. bspw. Bertelsmann Stiftung, 2019; Kirschner & De Bruyckere, 2017; Porat et al., 2018) auf Defizite in den erforderlichen Fertigkeiten hin und fordern entsprechende Gegenmaßnahmen. Diese müssen laut der Bertelsmann Stiftung (2019) im Rahmen des Schulunterrichts erfolgen, da viele Eltern diese Unterstützung nicht leisten. Den Umgang mit digitalen Medien und Werkzeugen im Unterricht zu üben ist somit unerlässlich.

Die erforderlichen Lerntätigkeiten zum Erwerb digitaler Kompetenzen können von entsprechenden Modellen abgeleitet werden. In Deutschland ist das Modell *Kompetenzen in der digitalen Welt* aus der Digitalstrategie der Kultus-

ministerkonferenz (s. KMK, 2017) dafür maßgeblich. Es umfasst sechs Kompetenzbereiche, die den Umgang mit digitalen Inhalten und folglich mit digitalen Endgeräten zwingend erforderlich machen. Beispielsweise sollen die Lernenden üben, digitale Ressourcen für das Informationsmanagement, die Zusammenarbeit und die Erstellung eigener Produkte zu nutzen.

Digitales Lernen wird dem fachlichen Lernen jedoch nicht übergeordnet. So betont die Gesellschaft für Didaktik (s. GFD, 2018): „Unterricht ist immer Fachunterricht“ (S. 1). Ausgehend von dieser Prämisse fordert sie eine Verknüpfung des Erwerbs digitaler und fachlicher Kompetenzen. Dies gelingt nach Schneeweiß et al. (2020) durch eine Prüfung der Eignung digitaler Medien zur Vermittlung von Fachinhalten. Den Autoren zufolge sollte stets beurteilt werden, ob digitale Gestaltungselemente den analogen unterlegen, gleichgestellt oder überlegen sind. Trifft letzteres zu, so liegt ein entscheidendes Argument für den Einsatz digitaler Lernmaterialien vor.

Beispiele für eine gewinnbringende Erweiterung des Fachunterrichts durch den Einsatz digitaler Medien sind in hoher Vielzahl in der Literatur zu finden. Im Chemieunterricht können beispielsweise submikroskopische Prozesse mit Hilfe von Animationen visualisiert (s. Sieve, 2020), Realexperimente durch Simulationen ergänzt (s. Stinken-Rösner & Abels, 2020) und Datenerfassungen durch Videographie vereinfacht (s. Schneeweiß & Sieve, 2020) werden. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten stellen eine Chance für die zielführende Gestaltung fachbezogener Lernprozesse dar.

Darüber hinaus kann eine digitale Gestaltung auch zur Individualisierung des Unterrichts beitragen. Sie ermöglicht es vielfältige Lernmaterialien zur Verfügung zu stellen und den Ort und Zeitpunkt des Lernens flexibel festzulegen. Der Inhalt, die Form und der Kontext des Lernens können so nach individuellen Bedürfnissen gestaltet werden (Bertelsmann Stiftung, 2019). Auf diese Weise kann das Unterrichtspotenzial zur Förderung des Kompetenzerwerbs stärker ausgeschöpft werden.

Bei der Individualisierung spielt auch der Abbau von Lernbarrieren eine Rolle. Digitale Lernangebote können dabei unterstützend wirken. Laut Stinken-Rösner und Abels (2021) werden sie beispielsweise als Tools eingesetzt, um sprachliches Material zu übersetzen oder vorlesen zu lassen. Lernende, die Deutsch als Zweitsprache lernen oder Schwierigkeiten mit dem Lesen haben, können so am Fachunterricht teilhaben.

Das Potenzial für den Abbau von Lernbarrieren, die Individualisierung von Unterrichtsprozessen und die Förderung fachlicher und digitaler Kompetenzen stellen tragende Argumente für den Einsatz digitaler Gestaltungselemente im Unterricht dar. Eine entsprechende Forderung ist in Deutschland in der Digitalstrategie der Kultusministerkonferenz (s. KMK, 2017) formuliert, die auch Richtlinien für die Bereitstellung von digitalen Endgeräten vorgibt: „Ziel ist es, dass jede Lehrkraft, jede Schülerin und jeder Schüler sukzessive – entsprechend dem schulischen Medienkonzept – ein vernetztes multifunktionales mobiles Endgerät nutzen kann“ (S. 39). Die Frage, ob die persönlichen Geräte der Lernenden oder schuleigene Geräte zu diesem Zweck genutzt werden sollen, bleibt hier jedoch offen.

1.2 Die Bereitstellungsform als Stellschraube im Unterricht

1.2.1 Begriffsdefinitionen

Für die Bereitstellung digitaler Endgeräte im Unterricht gibt es in der Praxis eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen. So können Burden et al. (2012) in einer Analyse der in Schulen vorhandenen Strategien zwar Hauptkategorien identifizieren, betonen aber, dass diese in manchen Schulen in hybrider Form realisiert werden. Ebenso weist Krause (2022) darauf hin, dass die Umsetzung der verschiedenen Modelle nicht zwangsläufig trennscharf erfolgt. Für die Identifikation von Bereitstellungsformen sind dem Autor zufolge vier Merkmale mit zwei potenziellen Ausprägungen entscheidend: der Kostenträger (Schule oder Lernende), der Verantwortliche für die Geräteauswahl (Schule oder Lernende), der Verantwortliche für die Gerätwartung (Schule oder Lernende) und die Geräteverfügbarkeit (unterrichtsbegleitend oder dauerhaft). Die Bereitstellungsform BYOD zeichnet sich beispielsweise dadurch aus, dass die Auswahl, Finanzierung und Wartung der Geräte in der Verantwortung der Lernenden liegt. Die Bereitstellungsform Get Your Own Device (GYOD) setzt ebenfalls eine Finanzierung durch die Lernenden voraus, die ihre Auswahl jedoch nur innerhalb eines vorgegebenen Rahmens treffen können. Bei der Bereitstellungsform Corporate Owned Personally Enabled (COPE) trägt wiederum die Schule die Kosten der

Geräte und übernimmt darüber hinaus auch deren Auswahl und Wartung (Krause, 2022).

Die Bereitstellungsformen BYOD, GYOD und COPE zeichnen sich durch die dauerhafte Verfügbarkeit der Geräte aus und lassen folglich einen Heimgebrauch zu. Darin unterscheiden sie sich von der Bereitstellungsform Pool, bei der schuleigene Geräte nur innerhalb des Unterrichts verfügbar gemacht werden (Krause, 2022). BYOD, GYOD und COPE ermöglichen den Lernenden somit ein deutlich ausgeprägteres Nutzungsspektrum. Möglicherweise ist diese gemeinsame Eigenschaft ausschlaggebend dafür, dass sie von einigen Autoren (s. bspw. Bruder, 2014; Dixon & Tierney, 2012) nicht strikt unterschieden werden. Diese Autoren diskutieren unter anderem auch solche Bereitstellungsformen, bei denen eine Teilfinanzierung und Vorauswahl durch die Schule erfolgt, unter dem Begriff BYOD.

In der vorliegenden Arbeit wird die Konzeptualisierung von BYOD im Sinne von Krause (2022) übernommen. Auch die Bereitstellungsform Pool wird im Sinne des Autors aufgefasst. Nach diesem Verständnis unterscheiden sich die Bereitstellungsformen in allen der vier dargestellten Merkmale.

1.2.2 Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen BYOD und Pool

Die Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen BYOD und Pool ist bislang nur geringfügig mit wissenschaftlichen Studien untermauert. So erforschen zahlreiche Studien (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Kay et al., 2017; Schellenberg, 2018) die Nutzung digitaler Endgeräte lediglich im Kontext einer einzelnen Bereitstellungsform und sehen von einem direkten Vergleich mit anderen ab. Der Fokus liegt dabei auf BYOD.

BYOD, so machen verschiedene Autoren (s. bspw. Dixon & Tierney, 2012; Johnson, 2012; Nelson, 2012) deutlich, dient letztlich der Entlastung von Schulen, die nicht über den finanziellen Spielraum verfügen, um die Geräte für eine breite digitale Stützung des Unterrichts zur Verfügung zu stellen. Die verbleibenden Gelder können die Schulen laut Bruder (2014) nutzen, um ihre digitale Infrastruktur zu stärken.

Die finanzielle Belastung durch die Bereitstellung digitaler Endgeräte trifft bei der Umsetzung von BYOD die Lernenden. Unterschiede in ihrem finanzi-

ellen Hintergrund könnten sich gemäß verschiedener Autoren (s. bspw. Bruder, 2014; Nelson, 2012) in lernrelevanten Unterschieden in ihrer Ausstattung ausdrücken. Tatsächlich berichtete eine Lehrperson in der Interviewstudie von Adhikari et al. (2017), dass einzelne Lernende in einem BYOD-Programm gar nicht auf ein digitales Endgerät im Unterricht zugreifen konnten. Die Ungleichstellung der Lernenden drückt sich nach Starkey et al. (2017) jedoch nicht nur im Besitz eines Geräts aus. Den Autoren zufolge können auch Mängel in der Leistungsfähigkeit verfügbarer Geräte den Nutzungsumfang von Lernmaterialien reduzieren. BYOD birgt folglich das Risiko die soziale Schere durch die Einschränkung der unterrichtlichen Teilhabe unprivilegierter Lernender zu vergrößern.

Bezüglich der Finanzierung von BYOD-Programmen können demnach sowohl positive als auch negative Auswirkungen identifiziert werden. In ähnlicher Weise wird auch die ständige Verfügbarkeit von persönlichen Endgeräten in entsprechenden Programmen sowohl positiv als auch negativ bewertet. Als positiv könnte sich BYOD beispielsweise für den organisatorischen Aufwand im Unterricht erweisen. Die Lernenden haben ihre eigenen Geräte schnell zur Hand. Die Zeitersparnis, die sich aus dem Verzicht auf das Verteilen und Einschalten schuleigener Geräte ergibt, kann somit für das Lernen genutzt werden. Darüber hinaus kann BYOD der Kommunikation und Kooperation mit den Eltern dienen. So beschreiben verschiedene Autoren (s. bspw. Burden et al., 2012; Maher & Twining, 2017), dass Eltern einen besseren Einblick in die schulischen Aktivitäten ihrer Kinder erhalten, wenn diese auch zu Hause auf die verwendeten Geräte zugreifen können.

Die potenzielle Zunahme von Bildschirmzeit aufgrund der schulbedingten Nutzung digitaler Endgeräte außerhalb des Unterrichts wird jedoch auch kritisch gesehen. So befürchtet Merga (2016) negative Folgen für die körperliche und seelische Gesundheit der Lernenden. Die Autorin mutmaßt, dass BYOD zu einer Zunahme von Sitztätigkeiten und infolgedessen zu Schlaf- und Rückenproblemen führt. Die dargelegte Herleitung berücksichtigt allerdings keine Gegenmaßnahmen im Rahmen der Hausaufgaben- und Freizeitregelung. Es bleibt daher unklar, ob die befürchteten Konsequenzen zwangsläufig eintreten. Ebenso unklar bleibt, ob die häufige Verwendung persönlicher Endgeräte in BYOD-Kontexten negative Auswirkungen auf die soziale Interaktion der Lernenden hat. Unter Berücksichtigung der Umfragestudie von Parsons und Adhikari

(2016) lässt sich dies jedoch vermuten. So schildern die Autoren einen Rückgang der direkten Kommunikation von Lernenden infolge der Einführung eines entsprechenden Programms.

Weitere Vor- und Nachteile von BYOD können vor dem Hintergrund des hohen persönlichen Gerätebezugs diskutiert werden. So kann die Bereitstellungsform beispielsweise zu einer effizienten Gerätebedienung beitragen. Dies liegt laut Nuholu Kibar et al. (2020) darin begründet, dass die Lernenden im Umgang mit ihren persönlichen Geräten geübt sind. Weiterhin berichten verschiedene Autoren (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Kiger & Herro, 2015; Schellenberg, 2018), dass schulische Verantwortungsträger eine Verbesserung von affektiven Merkmalen beim Lernen mit persönlichen Endgeräten feststellen. Untermauert wird diese Feststellung durch die SWOT-Analyse von Criollo-C und Luján-Mora (2018), die eine Verbesserung der Mitarbeit im Kontext von BYOD-Programmen nachweist. Ob diese positiven Effekte tatsächlich in Zusammenhang mit der Bereitstellungsform stehen oder lediglich mit dem Einsatz digitaler Endgeräte zu begründen sind, ist allerdings kritisch zu hinterfragen. Gemäß Burden et al. (2012) können sie jedoch direkt mit dem persönlichen Besitz digitaler Endgeräte in Verbindung gebracht werden.

Die positiven Effekte stehen der von verschiedenen Autoren (s. bspw. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) dargestellten Befürchtung gegenüber, dass das Lernen in BYOD-Kontexten mit einem verstärkten Auftreten von Distraktionsverhalten einhergehen könnte. Dass die persönlichen Geräte tatsächlich zur Distraction genutzt werden, wird in verschiedenen Studien (s. bspw. Batch et al., 2021; Kay et al., 2017; Schellenberg, 2018) deutlich. Dennoch bleibt auch bei diesen Studien offen, ob eine ähnliche Beobachtung im Kontext anderer Bereitstellungsformen getroffen werden kann.

Die Auswirkung von BYOD auf affektive Merkmale und die Distraction sind folglich nur lückenhaft erforscht. Gleiches gilt für die Lernleistung. So belegen verschiedene Fallstudien (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Schellenberg, 2018; Song & Ku, 2016) zwar die Lernwirksamkeit von BYOD-Programmen, können diese aber nicht eindeutig auf die Form der Bereitstellung zurückführen. Ob die Summe der spezifischen konzeptuellen Eigenschaften von BYOD und deren vielfältige Auswirkungen einen Vorteil für die Lernleistung bringen, bleibt daher unklar. Dennoch gehen Dixon und Tierney (2012) von einem besonderen Nutzen von BYOD aus: „Informal observation and classroom experience also

suggest that, when students have their own laptops, learning is deeper and they engage in more intellectual, conceptual, analytical, creative thinking“ (S. 3). Einen wissenschaftlichen Beleg darüber führen die Autoren jedoch nicht.

Der Bewertung der Bereitstellungsform BYOD mangelt es folglich an Substanz. Gleiches gilt für die Bereitstellungsform Pool, die als solche keine erkennbare Beachtung in den wissenschaftlichen Studien findet. Trotz dieser eingeschränkten wissenschaftlichen Basis existiert ein deutliches Meinungsbild unter den schulischen Verantwortungsträgern. Der SWOT-Analyse von Criollo-C und Luján-Mora (2018) zufolge begegnen sie der Bereitstellungsform BYOD mit Ablehnung. Dass diese negative Haltung jedoch nicht in allen Teilgruppen vorherrscht, wird in einer Umfragestudie von Hopkins et al. (2017) deutlich. Sie ergab, dass die Lernenden selbst offen dafür sind, ihre persönlichen Geräte im Unterricht zu nutzen. Weiterhin konnten Kiger und Herro (2015) in einer Elternbefragung zeigen, dass deren Zustimmung für BYOD von der wahrgenommenen Schulqualität abhängt.

Aus didaktischer Sicht ist es jedoch entscheidend, dass der Einfluss von BYOD und Pool auf die Lernleistung und lernrelevante Variablen wie affektive Merkmale und Distraction nicht hinreichend erforscht sind. Ein tragfähiges Urteil über die Bereitstellungsformen zu fällen, sie gar gegeneinander abzuwägen, erscheint daher unmöglich. Die Durchführung einer fundierten Studie zur Gegenüberstellung von BYOD und Pool ist daher unerlässlich.

1.3 Forschungsinteressen

Das Ziel der Digitalstrategie der Kultusministerkonferenz (s. KMK, 2017), die individuelle Nutzung digitaler Endgeräte im Schulunterricht zu etablieren, bildet die schulpolitische Ausgangslage dieser Arbeit. Wie in Kapitel 1.1 dargestellt wurde, macht diese Strategie keine Vorgaben darüber, wie die notwendigen Endgeräte zum Erreichen des Ziels bereitgestellt werden sollen. Somit ist es Entscheidungsträgern auf den nachgeordneten Ebenen – den schulpolitischen Behörden der Länder, den Schulen und den Lehrenden – selbst überlassen, Präferenzen für die Bereitstellung von digitalen Endgeräten im Schulunterricht zu formulieren. Angesichts der in Kapitel 1.2.2 aufgezeigten Forschungslücken, besteht aus didaktischer Sicht jedoch keine hinreichende wissenschaftliche Informationsgrundlage dafür. Um eine solche Grundlage zu schaffen, ist es

notwendig, unterschiedliche Bereitstellungsformen hinsichtlich lernrelevanter Merkmale miteinander zu vergleichen.

Ausgehend von der Funktion des Schulunterrichts, Lernprozesse anzuregen und zu unterstützen, ist die Lernleistung bei diesem Vergleich zentral. Sie wird hier folglich als Bewertungsgrundlage in den Vordergrund gestellt. Verglichen werden genauer die Bereitstellungsformen BYOD und Pool. Sie eignen sich hierfür besonders, weil sie – gemäß der Definition nach Krause (2022) – die größten konzeptuellen Unterschiede untereinander aufweisen. Demgemäß lautet das erste Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit:

FI 1: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Geräts im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Geräts auf die Lernleistung im digital gestützten Unterricht aus?

Im Sinne des Anspruchs dieser Arbeit, den Kenntnisstand über das Lernen im Schulunterricht zu erweitern, sollen die Ergebnisse der Analyse der Lernleistung genauer untersucht werden. Ein Ausgangspunkt für die Formulierung eines dafür geeigneten Analyseschwerpunkts liegt in der Annahme, dass Lernende ihre eigenen Geräte in anderer Art und Weise verwenden als vorübergehend ausgehändigte Geräte. Diese Annahme zeigt sich beispielsweise in der Befürchtung, dass das Distraktionsverhalten in BYOD-Kontexten stärker als in anderen Bereitstellungskontexten ausgeprägt sein könnte. Wie bereits in Kapitel 1.2.2 dargestellt wurde, wird diese Befürchtung von verschiedenen Autoren (s. bspw. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) geschildert. Da es sich hierbei jedoch um eine Befürchtung handelt, die bislang nicht hinreichend wissenschaftlich belegt wurde, wird sie in der vorliegenden Arbeit auf den Prüfstand gestellt. Dabei wird der Blick allerdings auf das nicht-lernbezogene Verhalten erweitert, das neben dem Distraktionsverhalten auch Leerlauf-Tätigkeiten beinhaltet. Sollte sich die Bereitstellungsform auf eine dieser verwandten Verhaltenskategorien auswirken, könnte dies ebenso für die andere Verhaltenskategorie gelten. Die dargelegte Erweiterung trägt somit dazu bei, ein tieferes Verständnis von der Wirkung der Bereitstellungsformen zu gewinnen. Das zweite Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit lautet folglich:

FI 2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Geräts im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Geräts auf das nicht-lernbezogene Verhalten im digital gestützten Unterricht aus?

Potenzielle Verhaltensunterschiede sind im Sinne der bereits benannten Funktion des Schulunterrichts nur dann relevant, wenn sie sich auf das Lernen auswirken. Ob sich das nicht-lernbezogene Verhalten tatsächlich auf die Lernleistung auswirkt, ist zur Klärung der Wirkungsweise der Bereitstellungsformen also entscheidend. Aus dieser Betrachtungsweise folgt das dritte Forschungsinteresse dieser Arbeit. Es lautet:

FI 3: Inwiefern wirkt sich das nicht-lernbezogene Verhalten auf die Lernleistung im digital gestützten Unterricht aus?

Die Forschungsinteressen sind in Abbildung 1.1 dargestellt. Darin wird deutlich, wie sie miteinander zusammenhängen: Das erste Forschungsinteresse (FI 1) fragt nach dem übergreifenden Zusammenhang zwischen der Bereitstellungsform und der Lernleistung. Das zweite und dritte Forschungsinteresse (FI 2 und FI 3) dienen der weiterführenden Analyse dieses Zusammenhangs. Sie fragen danach, ob potenzielle Unterschiede in der Lernleistung in BYOD- und Pool-Kontexten auf das nicht-lernbezogene Verhalten zurückzuführen sind. Die zwei Komponenten des nicht-lernbezogenen Verhaltens – die Distraction und Leerlauf-Tätigkeiten – werden im theoretischen Hintergrund der vorliegenden Arbeit ausführlich dargestellt (s. Kapitel 2).

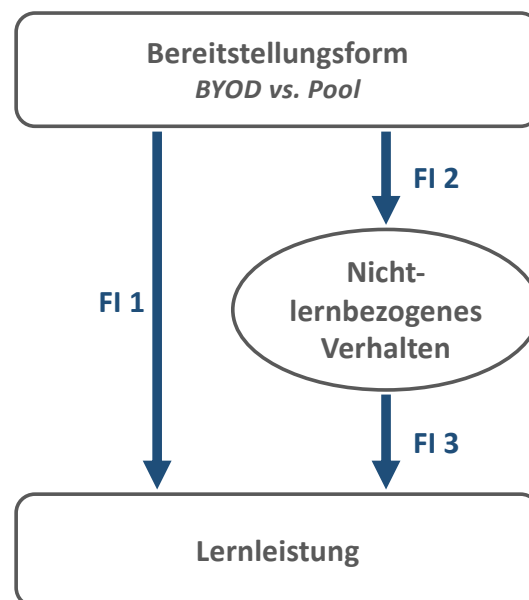


Abbildung 1.1: Visualisierung der maßgeblichen Forschungsinteressen

2 Theoretischer Hintergrund

Die in Kapitel 1.3 skizzierten Forschungsinteressen stellen die Auswirkung der Bereitstellungsform auf die Lernleistung in den Mittelpunkt dieser Arbeit. Unter anderem nehmen sie das nicht-lernbezogene Verhalten als potenziellen Mittler dieser Auswirkung in den Blick. Dieses Verhalten wird hier in zwei Komponenten gegliedert: das Distraktionsverhalten und Leerlauf-Tätigkeiten (s. Abb. 2.1). Entsprechend den Definitionen (s. Kapitel 2.1.1 und 2.2.1), die für die vorliegende Arbeit maßgeblich sind, treten die beiden Verhaltenskategorien in unterschiedlichen Unterrichtskontexten auf. Ihr Wesen, ihre Ursachen und ihre Auswirkungen werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

2.1 Distraction

2.1.1 Begriffsdefinition

Die Sichtung der wissenschaftlichen Publikationen zum Thema Distraction erweckt den Anschein, dass der Begriff selbsterklärend sei. So verzichten viele Autoren (s. bspw. David et al., 2015; Emerick et al., 2019; Seemiller, 2017) auf

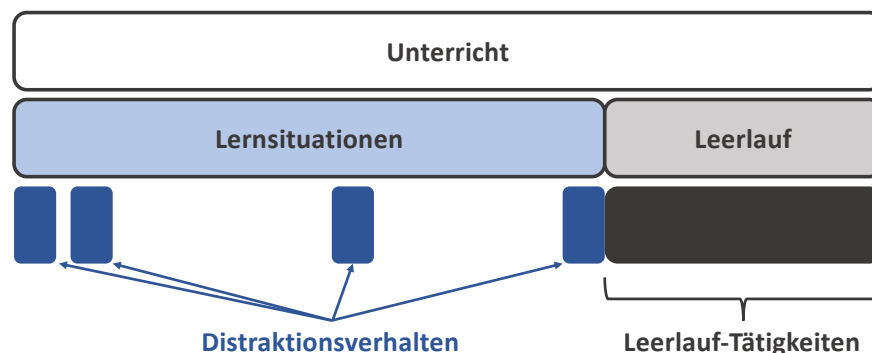


Abbildung 2.1: Kontextspezifität der zwei Komponenten des nicht-lernbezogenen Verhaltens im Unterricht

eine Beschreibung seiner Bedeutung. Dass ein einheitliches Verständnis über die Gestalt von Distraction jedoch nicht vorausgesetzt werden kann, wird angesichts der wenigen vorliegenden Konkretisierungen deutlich. Sie betrachten unterschiedliche Dimensionen des Begriffs.

Einige Autoren verstehen Distraction als Handlung. So erläutert Agaard (2019), dass Distraction als Multitasking in Erscheinung treten kann: „[M]ultitasking does not somehow cause distraction, it quite simply is distraction“ (S. 95). Dabei bleibt unklar, ob Distraction physischer oder mentaler Natur ist. Letzteres wird hingegen von Aaron und Lipton (2018) vorausgesetzt, die Distraction als mentalen Akt der Delokalisierung von Aufmerksamkeit beschreiben: „For purposes of this article, distracted is defined as attention diverted from course content“ (S. 377).

Andere Autoren definieren Distraction mit Hinblick auf ihre Wirkung. So sieht Dontre (2020) die Störung eines vorangestellten Bestrebens als zentrale Eigenschaft von Distraction an: „[D]istraction involves the potential of internal stimuli (e.g., mind wandering) or external stimuli (e.g., electronic media) to interrupt a student’s studies“ (S. 381). Im Einklang damit beschreiben Gazzaley und Rosen (2016) Distraction als Hürde für das Erreichen eines anvisierten Ziels: „Distractions are pieces of goal-irrelevant information that we either encounter in our external surroundings or generate internally within our own minds“ (S. 6).

Die Konkretisierung des Begriffs Distraction wird durch seinen vielseitigen Einsatz erschwert. Beispielsweise wird er von Xu (2010) zusammenfassend für verschiedene Aktivitäten wie das Tagträumen, das Führen von Gesprächen, das Spielen mit Gegenständen und das Schreiben von Textnachrichten genutzt. Die vier Aktivitäten unterscheiden sich in zentralen Eigenschaften. So ist das Tagträumen für den Beobachter nicht wahrnehmbar, das Führen von Unterhaltungen hingegen schon. Letztere ist eine verbale Aktivität, wohingegen das Spielen mit Gegenständen eine motorische Aktivität ist. Beide Aktivitäten sind überdies analoger Natur, während das Schreiben von Textnachrichten digitale Elemente beinhaltet.

Notizwürdig ist auch, dass Aktivitäten, die in einigen Publikationen als Distraction bezeichnet werden, in anderen Publikationen mit anderen Begriffen gekennzeichnet sind. So wird das Schreiben von Textnachrichten im Unterricht sowohl unter dem Begriff Distraction (s. Dietz & Henrich, 2014; Vahedi et al.,

2021) als auch unter den Begriffen Cyber-Slacking (s. Taneja et al., 2015) und Off-Task Multitasking (s. Wood et al., 2012; Zhou, 2022) diskutiert.

Um eine Definition zu formulieren, die alle Bedeutungsvarianten des Distraktionsbegriffs umfasst, werden die jeweiligen Definitionen hier auf Gemeinsamkeiten untersucht. Dabei wird deutlich, dass Distraction nie alleine steht, sondern immer im Kontext von etwas anderem – etwa einer anderen Aufgabe, wie in der Beschreibung von Agaard (2019), einem anderen Inhalt, wie in der Beschreibung von Aaron und Lipton (2018), einer anderen Handlung, wie in der Beschreibung von Dontre (2020) oder einer anderen Zielsetzung, wie in der Beschreibung von Gazzaley und Rosen (2016). Gemäß Dontre (2020) und Gazzaley und Rosen (2016) wirkt die Distraction zudem störend.

Um die Distraction als störend aufzufassen, ist es erforderlich einem anderen Bestreben Priorität einzuräumen. Aus Sicht der Bildungsforschung gilt diese Priorität dem Lernen. So erforscht eine Vielzahl von Studien (s. bspw. Blasiman et al., 2018; Flanigan & Titsworth, 2020; Kuznekoff & Titsworth, 2013) den Einfluss von Distraction auf die Lernleistung. Dass die Lernenden diese Sichtweise jedoch nicht zwangsläufig teilen, wird in anderen Studien (s. bspw. Boekaerts et al., 2006; Dowson & McInerney, 2003; Hofer, 2007) deutlich. Distraction ist folglich auch eine Frage der Perspektive.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt nimmt die Perspektive der Bildungsforschung ein. Im unterrichtlichen Kontext wird Distraction als Aktivität innerhalb einer Lernsituation verstanden, die nicht dem Lernen dient. Auf eine Konkretisierung ihrer Erscheinungsform wird zunächst verzichtet. Sie kann mental oder physisch, analog oder mit Hilfe digitaler Medien erfolgen. Letztere Form der Distraction wird fortan als digitale Distraction bezeichnet.

2.1.2 Empirische Studien über das Auftreten von Distraction in Lernsituationen

Die Literaturrecherche zum Auftreten von Distraction in Lernsituationen ergab zahlreiche Studien, die sich der digitalen Distraction widmen. Diese Studien identifizieren die digitale Distraction in unterschiedlichen Kohorten (s. Berry & Westfall, 2015; Kay et al., 2017) und messen ihren Anteil am Unterricht (s. McCoy, 2020; Ragan et al., 2014). Vergleichbare Studien zur analogen Distraction konnten nicht ausfindig gemacht werden. Aus diesem Grund beschränkt

sich der erste Teil dieses Kapitels auf die Darstellung der Form und Verbreitung der digitalen Distraction. Diese Beschränkung gilt hingegen nicht für die Unterkapitel zum Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Distraction und persönlichen sowie kontextuellen Merkmalen.

Die digitale Distraction wurde unter anderem in der Studie von Tallvid et al. (2015) erfasst. Die Autoren begleiteten ein Laptop-Programm in der Sekundarstufe und erhoben dabei sowohl Umfrage- als auch Interview- und Beobachtungsdaten. Ihre Analyse belegt, dass die digitale Distraction mit unterschiedlichen Applikationen in der Kohorte auftrat. In der achten Klasse bezifferte sich der Anteil von Lernenden, die täglich im Unterricht chatteten, auf 52%. Weitere 26% von ihnen taten dies gelegentlich. Die Nutzung digitaler Spiele im Unterricht trat demgegenüber weniger häufig auf. Hier bezifferte sich der Anteil der täglichen Nutzung auf 27% und der Anteil der gelegentlichen Nutzung auf 36%.

Ähnliche Werte werden von Kay et al. (2017) berichtet. Die Autoren erhoben Daten über die Häufigkeit unterschiedlicher Formen der digitalen Distraction bei Lernenden der Sekundarstufe anhand einer Umfrage. Hier bezifferte sich der Anteil der Lernenden, die angaben gelegentlich in entsprechender Weise abgelenkt zu sein, für das Surfen im Internet auf 65%, für das Schreiben von Emails auf 64%, für die Nutzung sozialer Medien auf 52% und für das Schreiben von Textnachrichten auf 32%. Hingegen gaben lediglich 30% der Lernenden an, gelegentlich oder regelmäßig digitale Spiele zu nutzen.

Dass die digitale Distraction auch unter Studierenden ein weit verbreitetes Phänomen darstellt, wird durch zahlreiche Umfragestudien (s. bspw. Attia et al., 2017; Batch et al., 2021; Berry & Westfall, 2015; Tindell & Bohlander, 2012) sowie anhand einer Feldbeobachtung (s. Wood et al., 2018) und einer Videoanalyse (s. Y. Liu et al., 2021) belegt. Der Anteil derjenigen, die im Umgang mit ihren digitalen Endgeräten abgelenkt sind, liegt den Umfragen zufolge zwischen 70% (s. Batch et al., 2021) und 92% (s. Tindell & Bohlander, 2012).

Die Anwendungen, die bei der Distraction von Lernenden der Sekundarstufe laut Tallvid et al. (2015) und Kay et al. (2017) im Vordergrund stehen, ähneln den Anwendungen, die auch Studierende laut Umfrageergebnissen bei der Distraction nutzen. Dazu zählen Anwendungen zum Schreiben von Textnachrichten (s. Kay & Lauricella, 2011a; Seemiller, 2017), zum Abrufen sozialer Medien (s. Emerick et al., 2019; Ragan et al., 2014; Seemiller, 2017), zum Browsen im Internet (s. Kay & Lauricella, 2011a; Seemiller, 2017) und zum Konsum von

Unterhaltungsformaten wie Filmen (s. Kay & Lauricella, 2011a) und Spielen (s. Kay & Lauricella, 2011a; Ragan et al., 2014).

Neben den verwendeten Applikationen wurde auch der Anteil der Lernzeit identifiziert, der im Kontext des universitären Unterrichts durch digitale Distraction gekennzeichnet ist. Er beziffert sich den Umfragestudien von McCoy zufolge auf 20,9% (s. McCoy, 2016) bzw. 19,4% (s. McCoy, 2020). Ein höherer Wert wurde in der Beobachtungsstudie von Ragan et al. (2014) identifiziert. Die Autoren erfassten das Laptopnutzungsverhalten mehrerer Studierender wiederkehrend innerhalb von Drei-Minuten-Intervallen und bezifferten den Anteil der digitalen Distraction an der Lehrveranstaltung auf 63%.

Zusammenhang mit persönlichen Merkmalen

Dass das Auftreten von Distraction in Zusammenhang mit den persönlichen Merkmalen der Lernenden steht, konnte in verschiedenen Studien belegt werden. Diese weisen auf einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Distraction und der Verpassungsangst (s. Al-Furaih & Al-Awidi, 2021), dem Interesse (s. Smallwood et al., 2009), den kognitiven Fähigkeiten (s. Robison & Unsworth, 2015; Unsworth & McMillan, 2017), der Genderzugehörigkeit (s. Godwin et al., 2016; Kay et al., 2017; Kay & Lauricella, 2011b; Tallvid et al., 2015) sowie der gewohnheitsmäßigen Nutzung und der Internetsucht (s. L. Chen et al., 2020) hin.

Inwiefern die Verpassungsangst mit dem Auftreten von Distraction zusammenhängt, wurde von Al-Furaih und Al-Awidi (2021) untersucht. Die Autoren führten eine Umfrage unter Studierenden durch, die Angaben zu ihrer Verpassungsangst und zum Ausmaß ihrer digitalen Distraction machten. Die Datenanalyse ergab eine starke Korrelation zwischen beiden Merkmalen. Demnach geht eine höhere Ausprägung der Verpassungsangst mit einem höheren Ausmaß an digitaler Distraction einher.

Zwei weitere Merkmale, die in einem positiven Zusammenhang mit dem Auftreten von digitaler Distraction stehen, sind die gewohnheitsmäßige Nutzung digitaler Endgeräte und die Internetsucht. Ihr Zusammenhang wurde von L. Chen et al. (2020) anhand einer Umfrage unter Studierenden ermittelt. Die Analyse der Autoren zeigt, dass beide Merkmale mit der Häufigkeit der digitalen Distraction korrelieren.

Das Interesse an der eigentlich auszuführenden Tätigkeit erweist sich hingegen als Merkmal, das in einem negativen Zusammenhang mit dem Auftreten von Distraction steht. Zu diesem Schluss kommen Smallwood et al. (2009), die ein Laborexperiment mit Probanden eines breiten Altersspektrums durchführten. Diese lasen einen Text und berichteten dabei auf Anforderung hin ihren Fokus. Danach bewerteten sie ihr Interesse am Text. Die Datenanalyse weist einen negativen Zusammenhang zwischen dem Interesse und dem Auftreten von Distraction nach.

Ein ähnliches Experiment wurde von Robison und Unsworth (2015) durchgeführt. Die Autoren untersuchten das Auftreten von Distraction jedoch in Zusammenhang mit kognitiven Fähigkeiten. In ihrer Studie führten Studierende zunächst Tests zur Messung ihrer Arbeitsgedächtniskapazität durch, um anschließend einen Text zu lesen und dabei wiederkehrend ihren Fokus zu berichten. Die Analyse ergab, dass Distraction bei einer höheren Arbeitsgedächtniskapazität seltener auftritt.

Dass die Distraction in Zusammenhang mit kognitiven Fähigkeiten steht, wird ebenso durch die Studie von Unsworth und McMillan (2017) belegt. Die Autoren erfassten sowohl die Arbeitsgedächtniskapazität als auch die fluide Intelligenz von Studierenden und forderten sie dazu auf, das Auftreten ihrer Distraction im Kontext ihrer regulären Lehrveranstaltungen zu dokumentieren. Die Daten wurden den Kategorien interne Distraction (z. B. Tagträumen) und externe Distraction (z. B. Fokus auf äußeren Stimulus) zugeordnet. Die Analyse zeigt, dass höhere kognitive Fähigkeiten mit einer geringeren Häufigkeit von interner Distraction einhergehen.

Weiterhin identifizieren Godwin et al. (2016) genderspezifische Unterschiede im Auftreten von Distraction anhand einer Feldbeobachtung. Die Autoren erhoben Daten über das Unterrichtsverhalten von Lernenden an Grundschulen. Dabei fokussierten sie die Lernenden abwechselnd und codierten vom Lernen abweichendes Verhalten. Ihre Analyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern. So wurde Distaktionsverhalten häufiger bei männlichen Lernenden identifiziert als bei weiblichen Lernenden.

Bezüglich der Nutzung digitaler Anwendungen im Kontext von Distraction liegen ebenso Hinweise auf genderspezifische Unterschiede vor. So zeigen verschiedene Studien (s. bspw. Kay et al., 2017; Kay & Lauricella, 2011b; Tallvid et al., 2015), dass Spiele häufiger von männlichen Lernenden genutzt werden

als von weiblichen. Hingegen werden die sozialen Medien laut Kay et al. (2017) seltener von männlichen Lernenden genutzt als von weiblichen.

Zusammenhang mit kontextuellen Merkmalen

Dass das Auftreten von Distraction auch in Zusammenhang mit kontextuellen Merkmalen steht, konnten weitere Studien zeigen. Diese betrachteten das Ausmaß von Distraction im Kontext von verschiedenen Unterrichtsformen (s. Bunce et al., 2010; Godwin et al., 2013), Aufgabendauern (s. Bunce et al., 2010; Godwin et al., 2016; Y. Liu et al., 2021) und Schuljahreszeiträumen (s. Godwin et al., 2016; Tallvid et al., 2015).

Hinsichtlich der Unterrichtsform erweisen sich interaktive Gestaltungsformate als distraktionsmindernd. So konnten Godwin et al. (2013) anhand einer Beobachtungsstudie zeigen, dass Lernende der Grundschule während Einzelarbeitsphasen eher zu Distraction neigen als in Gruppenarbeitsphasen. Im Einklang damit kommen Bunce et al. (2010) im Rahmen einer ad hoc Befragung zu dem Schluss, dass Studierende bei klassischen Vorlesungen häufiger abgelenkt sind als bei Lernangeboten zum Mitmachen.

Weiterhin erweist sich die Dauer von Lerntätigkeiten als Prädiktor für Distraction. So zeigen Bunce et al. (2010) im Rahmen der Ad-hoc-Befragung, dass das Auftreten von Distraction über den Verlauf einer Lerneinheit nicht gleichmäßig verteilt ist, sondern am Ende zunimmt. Zu derselben Schlussfolgerung kommen auch Y. Liu et al. (2021), die Studierende bei Lerntätigkeiten in einer Bibliothek videographierten. Ebenso kommen Godwin et al. (2016) anhand einer Feldbeobachtung zu dem Schluss, dass Distraction auch bei Lernenden der Grundschule mit steigender Aufgabendauer zunimmt.

Darüber hinaus liegen Ergebnisse über die Entwicklung von Distraction über den Zeitraum ganzer Schuljahre vor. So zeigen Godwin et al. (2016), die Beobachtungsdaten innerhalb von drei unterschiedlichen Zeiträumen eines Schuljahres sammelten, dass Distraction am Ende des Schuljahres verstärkt auftrat. Im Vergleich mehrerer Schuljahre sind laut der Umfragestudie von Tallvid et al. (2015) jedoch keine Unterschiede im Auftreten von Distraction erkennbar.

2.1.3 Motivationspsychologische Betrachtung der Ursachen von Distraction in Lernsituationen

Die Angaben der Lernenden zu Situationen, in denen sie abgelenkt sind, zeichnen ein einheitliches Bild. Sie geben an eher zu Distraction zu neigen, wenn sie wenig Interesse an den Lerntätigkeiten haben (s. Xu, 2010), sich bei der Durchführung der Lerntätigkeiten langweilen (s. Batch et al., 2021; Butler, 2020) oder wenig Motivation verspüren, den Lerntätigkeiten nachzugehen (s. Deng et al., 2022; Green, 2019; Taneja et al., 2015). In Situationen wie diesen erfüllt die Distraction nach Adler und Benbunan-Fich (2013) einen bestimmten Zweck: Sie verbessert die wahrgenommene Erfahrung der Lernsituation. Distraction stellt somit eine Regulationsstrategie dar, die beispielsweise auch dazu dient, Frustration und Ermüdung abzubauen (Adler & Benbunan-Fich, 2013).

Die Verhaltensregulation in den skizzierten Situationen basiert einerseits auf der negativen Wahrnehmung der Lernsituation und andererseits auf der positiven Wahrnehmung des Distaktionsverhaltens. Diese Wahrnehmungsformen werden von Zhou (2022) als Push- und Pull-Faktoren bezeichnet. Der Autorin zufolge stellen Push-Faktoren Gründe dar, sich von einer Tätigkeit abzuwenden, während Pull-Faktoren Gründe darstellen, sich einer anderen Tätigkeit zuzuwenden. In ihrem Modell der zyklischen Unterbrechung werden die wechselseitigen Übergänge zwischen Lern- und Distaktionsverhalten von beiden Faktorenklassen beeinflusst. Die Push-Faktoren haben dabei jedoch den größeren Anteil (Zhou, 2022).

Im Modell von Zhou (2022) ergänzen sich die Wahrnehmung der vorliegenden und der alternativen Tätigkeit so, dass sie beidseitig auf einen Verhaltenswechsel hinwirken. Demgegenüber gehen andere Autoren (s. bspw. Dowson & McInerney, 2003; Hofer, 2007; Lens et al., 2005) davon aus, dass Lern- und Distaktionsverhalten ständig in Konkurrenz zueinander stehen. Lens et al. (2005) weisen beispielsweise darauf hin, dass geringe Lernzeiten nicht zwangsläufig Ausdruck mangelnder Lernmotivation sind. Sie können, so die Autoren, auch einfach Ausdruck einer besonders hohen Motivation für Alternativen sein.

Die Modellierung von Lern- und Distaktionsverhalten im Sinne konkurrierender Handlungsoptionen basiert auf der Feststellung, dass Lernende in Bildungsinstitutionen eine Vielzahl unterschiedlicher Ziele verfolgen (Boekaerts et al., 2006; Dowson & McInerney, 2003; Hofer, 2007). Dazu gehören neben

akademischen Zielen auch soziale Ziele wie der Erhalt von Freundschaften (s. Wentzel, 1989), das Erreichen eines hohen Gruppenstatus (s. Dowson & McInerney, 2003) und der Genuss von Unterhaltung (s. Boekaerts et al., 2006).

Die vielfältigen Ziele der Lernenden stehen nach Fries et al. (2007) in Zusammenhang mit ihrem Wertesystem. Diese Vorstellung ist auch im Goal Hierarchy Modell von Carver und Scheier (2000) verankert. Es ordnet Ziele unterschiedlichen Abstraktionsgrads unterschiedlichen Ebenen zu und nimmt eine Verknüpfung zwischen den Zielen und dem idealen Selbstbild einer Person an. Die Tatsache, dass die Lernenden eine Vielzahl unterschiedlicher Ziele verfolgen, führt Boekaerts (2003) auf deren Selbstbild zurück, das der Autorin zufolge aufgrund ihres umfassenden Wertesystems eine Vielzahl von Merkmalen umfasst.

Die vielfältigen Werte der Lernenden können im Sinne von Werteorientierungen kategorisiert werden. So unterscheiden manche Autoren (s. bspw. Fries et al., 2007; Hofer et al., 2007; Hofer et al., 2009) zwischen der Leistungsorientierung und der Wohlseinsorientierung. Die Begriffsdefinitionen orientieren sich nach Fries et al. (2007) an den von Inglehart (1997) beschriebenen Werten moderner und postmoderner Gesellschaften. Für erstere steht der wirtschaftliche Erfolg im Vordergrund, für letztere eine angenehme Lebenserfahrung.

Die Ausprägung der Werteorientierung von Lernenden unterscheidet sich im Mittel abhängig davon, welcher Gesellschaftsgruppe sie angehören. So ergab eine Umfragestudie von Hofer et al. (2009), dass Lernende aus Industrieländern eine höhere Ausprägung wohlseinsorientierter Werte aufweisen als Lernende aus Entwicklungsländern. Dies schließt jedoch nicht aus, dass die Leistungsorientierung von Personen aus Industrieländern ebenfalls hoch ausgeprägt ist. So zeigt eine Interviewstudie von Schmid et al. (2005), dass Lernende aus Deutschland beide Werteorientierungen aufweisen. Darauf aufbauend belegt eine Umfragestudie von Fries et al. (2005), dass die beiden Orientierungen bei deutschen Lernenden ähnlich stark ausgeprägt sind. Der daraus resultierende motivationale Konflikt ist den Lernenden nach Schmid et al. (2005) sogar bewusst.

Wie motivationale Konflikte gelöst werden, lässt sich nach Ansicht einiger Autoren (s. bspw. Hofer et al., 2010; Hofer et al., 2009; Kilian et al., 2010) mit Hilfe der Dynamics of Action Theorie von Atkinson und Birch (1970) modellieren. Sie nimmt an, dass Personen mehrere Handlungstendenzen aufweisen, die sich in ihrer Stärke unterscheiden. Gemäß ihrer Ausprägung sind die Hand-

lungstendenzen nach Rängen geordnet. Dabei wird ausschließlich die Tendenz oberster Rangordnung in eine Handlung umgesetzt. Die Ausprägung der Handlungstendenzen wird durch bestärkende und schwächende Kräfte beeinflusst. Bestärkende Kräfte können äußere Stimuli wie beispielsweise Aufforderungen sein. Schwächende Kräfte können wiederum von Reaktionen auf diese Stimuli und somit von den ausgeführten Handlungen selbst ausgehen. Die Kräfte verändern die Rangordnung, sodass es zu einem Verhaltenswechsel kommt (Atkinson & Birch, 1970).

Das Modell von Atkinson und Birch (1970) kann auf Handlungen im Unterrichtskontext übertragen werden. Unter Berücksichtigung der vielfältigen Ziele der Lernenden (s. Boekaerts et al., 2006; Dowson & McNerney, 2003; Wentzel, 1989) kann davon ausgegangen werden, dass sie sowohl eine Tendenz zum Lernen als auch zur sozialen Interaktion haben. Beispielfähig lässt sich daraus das folgende Szenario ableiten: Für eine Person A nimmt die Tendenz zum Lernen die oberste Rangordnung ein. Sie kommt dieser Tendenz nach, indem sie eine Übungsaufgabe bearbeitet. Gleichzeitig nimmt sie wahr, dass eine Person B in ihrer Nähe soziale Medien auf einem Smartphone nutzt. Dieser Stimulus verstärkt die Tendenz von A, sozial zu interagieren. Nach einiger Zeit nimmt diese Tendenz die oberste Rangordnung ein. Folglich ändert A ihre Handlungsweise und unterhält sich mit B über die medialen Inhalte.

In dem Beispiel wirkt die Handlung einer benachbarten Person ursächlich für die Handlungsänderung der betrachteten Person. Einen solchen Wirkungsmechanismus beschreiben Lernende in einer Interviewstudie von Arnesen et al. (2020). Gemäß der Autoren führen sie ihr Distraktionsverhalten unter anderem auf das Verhalten von Mitlernenden zurück. Darüber hinaus deutet auch ein Quasi-Experiment von Hall et al. (2020) darauf hin, dass die Handlung benachbarter Personen ein Distraktionspotenzial bietet: Die Autoren belegen, dass Lernende eine geringere Lernleistung erzielen, wenn benachbarte Personen Distraktionsverhalten zeigen.

Neben solchen situativen Faktoren bestimmen aber auch persönliche Faktoren das Verhalten der Lernenden. So ist nach Hofer (2007) auch die Fähigkeit zur Selbstregulation ausschlaggebend für das Ausmaß des Distraktionsverhaltens. Letzteres wird nach Arnesen et al. (2020) auch von den Lernenden selbst bestätigt. Gemäß den Autoren führen sie Distractionen auch auf Schwächen in der Selbstregulation zurück.

Der Prozess der Selbstregulierung wird durch die Integrative Self-Control Theorie von Kotabe und Hofmann (2015) beschrieben. Die Autoren stellen den Konflikt zwischen einem übergeordneten Ziel und einem damit unvereinbaren Verlangen in den Vordergrund. Die Fähigkeit nach dem übergeordneten Ziel zu streben ist im Rahmen der Theorie sowohl von der Motivation zur Selbstregulation als auch von den Regulationskapazitäten abhängig. Letztere stehen wiederum in Abhängigkeit von den verfügbaren kognitiven Kapazitäten (Kotabe & Hofmann, 2015). Diese Kapazitäten variieren sowohl individuell als auch situativ. Sie können beispielsweise im Verlauf eines Tages schwinden. Distraction kann dann als Ermüdungserscheinung auftreten, weil Lernende nicht mehr in der Lage sind, konkurrierendes Bestreben zu unterdrücken (Hofer, 2007).

In Anbetracht der dargelegten Modelle (bspw. Atkinson & Birch, 1970; Kotabe & Hofmann, 2015; Zhou, 2022) erscheint es nicht geboten, pauschale Aussagen über die Ursachen von Distraction zu treffen. Vielmehr machen sie deutlich, dass Distraction aus einer Summe von Einflussgrößen folgt: dem Lernenden selbst, den situativen Gegebenheiten und deren Interaktion. Eine Ursachenbestimmung muss daher stets im Einzelfall erfolgen. Das Auftreten von Distraction, so machen die Modelle ebenso deutlich, ist umso wahrscheinlicher, wenn die Lerntätigkeiten von den Lernenden als wenig attraktiv wahrgenommen werden. Dies steht weiterhin auch im Einklang mit den Angaben der Lernenden selbst (s. Butler, 2020; Deng et al., 2022; Xu, 2010).

2.1.4 Empirische Studien über die Auswirkung von Distraction auf die Lernleistung

Die Auswirkung von Distraction auf die Lernleistung wurde in einer Vielzahl von Studien untersucht. Dazu gehören Studien, die reales Lernen in öffentlichen Bildungsinstitutionen betrachten (s. bspw. Godwin et al., 2021; Myers et al., 2015; Zureick et al., 2018), ebenso wie Studien, die Lernsituationen authentisch simulieren (s. bspw. Blasiman et al., 2018; Flanigan & Titsworth, 2020; Kuznekoff & Titsworth, 2013), und Studien, die Probanden mit alltagsfremden Lernaufgaben konfrontieren (s. bspw. Foerde et al., 2006). Ihre Ergebnisse stimmen ausnahmslos überein: Distraction mindert die Lernleistung. Das Vorgehen und die Erkenntnisse aus den Studien werden in diesem Kapitel dargestellt. Dabei soll die Breite des Untersuchungsspektrums aufgezeigt werden.

Die Studie von Foerde et al. (2006) untersucht die Auswirkung von Distraction auf den Aufbau deklarativen Wissens. Im Kontext einer Aufgabe über Wetterprognosen erarbeiteten Probanden Wissen über die probabilistische Aussagekraft unterschiedlicher Symbolkombinationen in einer Reihe von Lernabschnitten. Manche dieser Abschnitte enthielten zusätzliche Distraktoraufgaben. Dabei zählten die Probanden hohe Töne in einer Audiospur. In einem Posttest über die Bedeutung der Symbolkombinationen zeigten sie bessere Leistungen, wenn Inhalte aus den Lernabschnitten ohne Distraktoraufgabe abgefragt wurden. Die Autoren schlussfolgern, dass Distraction den Aufbau deklarativen Wissens beeinträchtigt.

Die Ergebnisse von Godwin et al. (2021) deuten überdies darauf hin, dass die lernbeeinträchtigende Wirkung von Distraction in Zusammenhang mit ihrer Häufigkeit steht. Die Autoren beobachteten Grundschulkinder im Unterricht über einen Zeitraum von drei Monaten. Dabei fokussierten sie die Lernenden abwechselnd und codierten vom Lernen abweichendes Verhalten. Die Lernleistung ermittelten sie aus schulischen Bewertungen. Ihre Analyse zeigt eine schwache Korrelation. Lernende, die häufiger abgelenkt waren, hatten schlechtere Noten.

In Übereinstimmung damit zeigen sowohl Cocea et al. (2009) als auch Roberge et al. (2012), dass die lernbeeinträchtigende Wirkung von Distraction mit deren Dauer zusammenhängt. In beiden Studien wurde das Verhalten von Lernenden der Sekundarstufe bei der Bearbeitung von Aufgaben in digitalen Lernprogrammen analysiert. Dabei wurde das Distaktionsverhalten codiert und die Lernleistung durch Prä- und Posttests erfasst. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Reduktion der Lernzeit entscheidend für die lernbeeinträchtigende Wirkung von Distraction ist. Laut Roberge et al. (2012) ist die Verteilung der Distaktionsereignisse dabei nicht entscheidend. Wenige lange und viele kurze Unterbrechungen des Lernvorgangs waren in ihrer Studie mit gleichwertigen Lernleistungen assoziiert.

Myers et al. (2015) bestätigen die lernbeeinträchtigende Wirkung von Distraction für den speziellen Fall, dass sie von Mitlernenden ausgeht. Die Autoren befragten Studierende bezüglich des Auftretens von unterrichtsstörendem Verhalten und ihrem wahrgenommenen Lernerfolg in den betreffenden Veranstaltungen. Ihre Analyse zeigt eine negative Korrelation zwischen beiden Merkmalen. Diejenigen Studierenden, die anderen Studierenden unterrichtsstörendes

Verhalten in einem höheren Maß zugeschrieben, schätzten ihren Lernerfolg geringer ein.

Die Studie von Beland und Murphy (2016) gibt weiterhin einen Hinweis darauf, dass digitale Distraction in Zusammenhang mit der Präsenz digitaler Endgeräte vorliegen und eine negative Auswirkung auf die Lernleistung haben könnte. Die Autoren verglichen die Ergebnisse zentraler Leistungstests bei Lernenden der Sekundarstufe vor und nach der Einführung einer schulischen Nutzungsbeschränkung für Smartphones. Ihre Analyse zeigt einen signifikanten positiven Effekt der Beschränkung auf die Testergebnisse. Er könnte den Autoren zufolge auf einen Rückgang der digitalen Distraction zurückzuführen sein.

Ein substanziellerer Beleg für die lernbeeinträchtigende Wirkung digitaler Distraction findet sich in den Studien von Duncan et al. (2012), Aaron und Lipton (2018) und Zureick et al. (2018). Die Autorengruppen Duncan et al. (2012) und Zureick et al. (2018) vergleichen die Semesterabschlussnoten von Studierenden, die sich zu digitaler Distraction während der Lehrveranstaltungen bekannten, mit denen von Studierenden, die kein solches Verhalten berichteten. Ihre Analysen zeigen schlechtere Noten in der Gruppe von Studierenden mit digitaler Distraction. Der Unterschied ist in der Studie von Duncan et al. (2012) signifikant. Die Ergebnisse werden durch Aaron und Lipton (2018) ergänzt, die ein ähnliches Untersuchungsprinzip verfolgen, jedoch einen erheblich geringeren Zeitraum in den Blick nehmen. Die Autoren analysierten den Lernerfolg von Studierenden beim Betrachten eines Lernvideos. Ihre deskriptiven Ergebnisse zeigen eine bessere Behaltensleistung in der Gruppe von Lernenden, die im Nachhinein keine digitale Distraction berichteten.

Die Ergebnisse werden durch Studien ergänzt, die eine experimentelle Steuerung der digitalen Distraction beinhalten. So vergleichen Dietz und Henrich (2014) die Behaltensleistung von Studierenden, die während einer Vorlesung mittels digitalen Textnachrichten kommunizierten, mit denjenigen, die dies nicht taten. Die Studierenden wurden zu diesem Zweck einer von zwei Gruppen zugeordnet. Die Experimentalgruppe wurde dazu aufgefordert während der Vorlesung Textnachrichten zu versenden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, der diese Art der Kommunikation untersagt war, hatte sie signifikant schlechtere Ergebnisse im Posttest.

Ein noch höheres Maß an Manipulation erfolgte in den Studien von Wood et al. (2012) und Froese et al. (2012), die ebenfalls den Einfluss der Kommunikati-

on über digitale Textnachrichten während einer Vorlesung auf die Behaltensleistung von Studierenden untersuchten. Beide Autorengruppen beeinflussten das Distraktionsverhalten, indem sie die Experimentalgruppe zu einem Austausch von Nachrichten mit Co-Experimentatoren aufforderten. Die Co-Experimentatoren steuerten den Nachrichtenverlauf durch ihre Antworten. In beiden Studien erzielte die Experimentalgruppe signifikant schlechtere Posttest-Ergebnisse als die Kontrollgruppe.

Eine ähnliche Methode nutzten auch Kuznekoff und Titsworth (2013). Mit Hinblick auf das Ausmaß der Nachrichtenkommunikation unterschieden die Autoren jedoch zwei Experimentalgruppen. So wurde eine Gruppe häufig und eine andere weniger häufig zum Austausch von Textnachrichten animiert. In der Kontrollgruppe war der Austausch von Textnachrichten untersagt. Einen signifikanten Unterschied konnten die Autoren lediglich zwischen der Experimentalgruppe mit hoher Nachrichtenfrequenz und der Kontrollgruppe identifizieren. Die Studie lässt den Autoren zufolge darauf schließen, dass das Ausmaß der digitalen Distraction entscheidend für deren Auswirkung auf die Lernleistung ist.

Flanigan und Titsworth (2020) verglichen überdies die Auswirkung von digitaler Distraction im Kontext unterschiedlicher Lernmethoden. Die Autoren teilten Studierende in zwei Gruppen ein, die sich mit Hinblick auf die Mediennutzung beim Anfertigen von Notizen während einer Vorlesung unterschieden. Genauer nutzte eine Mediengruppe einen Laptop und eine andere Stift und Papier. Beide Mediengruppen wurden wiederum in eine Experimentalgruppe mit animierter Nachrichtenkommunikation und eine Kontrollgruppe unterteilt. In beiden Mediengruppen erzielten die Experimentalgruppen schlechtere Posttest-Ergebnisse.

Die Studie von Blasiman et al. (2018) deutet letztlich darauf hin, dass von unterschiedlichen Distraktionsformen eine ähnlich lernbeeinträchtigende Wirkung ausgeht. Die Autoren manipulierten die Distraction in einem experimentellen Design. Dabei nahmen Studierende mit und ohne Anweisung zur Distraction an Online-Vorlesungen teil. Die Anweisungen reichten von motorischen Tätigkeiten wie Wäsche aufhängen bis hin zu verbalen Tätigkeiten wie Gespräche führen. Die Ergebnisse des Posttests zeigen eine signifikant schlechtere Leistung der Studierenden mit Distraction. Zwischen den verschiedenen Formen der Distraction konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden.

Die hier berichteten Studien zeichnen ein einheitliches Bild über die Wirkung von Distraction: Sie beeinträchtigt die Lernleistung. Diese Schlussfolgerung wird sowohl aus der Betrachtung analoger (s. Blasiman et al., 2018; Foerde et al., 2006; Godwin et al., 2021) als auch digitaler Formen der Distraction (s. Aaron & Lipton, 2018; Duncan et al., 2012; Flanigan & Titsworth, 2020) gezogen. Dabei erweist sich das Ausmaß der Distraction als entscheidend für das Ausmaß der Lernbeeinträchtigung (Cocea et al., 2009; Kuznekoff & Titsworth, 2013; Roberge et al., 2012).

2.1.5 Kognitionspsychologische Betrachtung der Auswirkung von Distraction auf die Lernleistung

Die Modelle der Kognitionspsychologie stellen eine Grundlage zur Erklärung der lernbeeinträchtigenden Wirkung von Distraction dar. Sie treffen einerseits Annahmen über die Struktur der Außenwelt und andererseits über die Mechanismen der Wahrnehmung. Zwei Vorstellungen sind dabei zentral: dass der Informationsgehalt der Außenwelt nicht als Ganzes vorliegt, sondern in eine Vielzahl von Einheiten unterteilt ist, und dass die Anzahl der gleichzeitig wahrnehmbaren Einheiten begrenzt ist (Aagaard, 2015).

Unter Berücksichtigung des Aufmerksamkeitsbegriffs ist eine Erklärung der Wahrnehmungsgrenzen möglich. Die Aufmerksamkeit wird als Instanz zur Priorisierung von Informationen (s. Posner, 1980), als fokussierendes Instrument (s. Scholl, 2001) oder als Auswahlmechanismus (s. Moors & de Houwer, 2006) und folglich als selektiv beschrieben. Die Selektivität hat Carrasco (2011) zufolge eine entlastende Funktion: Sie schützt das kognitive System vor Überforderung, indem sie die ausschließliche Berücksichtigung von als wichtig erachteten Informationen ermöglicht. Die Notwendigkeit zu dieser Beschränkung folgt aus der Begrenztheit der verfügbaren Energie (Carrasco, 2011).

Die Aufmerksamkeit wird nach Posner (1980) auf konkrete Informationseinheiten gerichtet. Diese können realer Form, also Teil der Außenwelt, oder mentaler Form, also Teil der Gedächtnisstruktur, sein. Das Ausrichten der Aufmerksamkeit ist somit nicht zwangsläufig sichtbar (Posner, 1980).

Die Vorstellung, dass die Aufmerksamkeit bestimmte Informationseinheiten fokussiert, wird von Sweller (1988) mit der Vorstellung gleichgesetzt, dass unterschiedliche Einheiten um begrenzte Verarbeitungskapazitäten konkurrieren.

Dabei wird die Verarbeitung mancher Einheiten zum Nachteil anderer priorisiert (Sweller, 1988).

Im Rahmen dieses Erklärungsansatzes, der als *Cognitive Load Theory* bekannt ist, wird die Vorstellung herangezogen, dass die Informationsverarbeitung innerhalb eines begrenzten Arbeitsgedächtnisses erfolgt. Dieses wird als Sitz der bewussten Informationsverarbeitung verstanden (Sweller et al., 1998). Nach Miller (1956) kann es etwa sieben Einheiten kurzfristig speichern. Diese Zahl besitzt jedoch keine Allgemeingültigkeit. So wird in psychologischen Tests (s. bspw. Conway, 1996; Daneman & Carpenter, 1980; Jarrold & Towse, 2006) deutlich, dass individuelle Unterschiede in der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bestehen.

Die individuellen Kapazitätsunterschiede werden in verschiedenen Arbeitsgedächtnismodellen berücksichtigt. So beschreiben beispielsweise Engle et al. (1992) und Just und Carpenter (1992), dass das Arbeitsgedächtnis nur solche Elemente enthält, die mit einem dafür ausreichenden Aktivierungsgrad angereichert sind. Die Menge der zuteilbaren Energie ist den Autoren zufolge individuell ausgeprägt.

Neben der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wird auch der Lernstand bei der Modellierung kognitiver Leistungen berücksichtigt. Dieser drückt sich laut Sweller et al. (1998) unter anderem in der Komplexität der als Einheit vorliegenden Informationsbündel aus. Personen mit hohem Lernstand verarbeiten demnach Informationsbündel hoher Komplexität. Da ein solches Bündel lediglich eine einzelne Einheit darstellt, trägt es dazu bei, die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu verringern (Sweller et al., 1998).

Eine weitere Begründung für die geringere kognitive Belastung von Personen mit höherem Lernstand wird in der Automatisierung gesehen (Sweller et al., 1998). Darunter wird eine unbewusst ablaufende Verarbeitung von Informationen verstanden. Ob die Automatisierung graduell ausgeprägt ist oder einen strikten Gegensatz zur bewussten Informationsverarbeitung darstellt, wird uneinheitlich diskutiert (Moors & de Houwer, 2006). Shiffrin und Schneider (1977) beschreiben beispielsweise eine Dichotomie zwischen kontrollierten und automatisierten Prozessen. Demgegenüber geht Logan (1985) davon aus, dass die Automatisierung auf einem kontinuierlichen Aneignungsprozess beruht und auch anteilig an Verarbeitungsprozessen beteiligt sein kann. Aus beiden An-

schauungsweisen folgt nach Sweller et al. (1998) eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses, dessen Kapazität nicht oder nur in geringem Maße genutzt wird.

Verschiedene Arbeitsgedächtnismodelle berücksichtigen weiterhin die Form der zu verarbeitenden Informationen. Sie nehmen an, dass unterschiedliche Prozessarten unterschiedliche Kapazitätspools beanspruchen (Wickens, 1980). Eine solche Differenzierung liegt beispielsweise in der Unterscheidung unterschiedlicher Sinneswahrnehmungen vor. So modellieren Penney (1989) und Baddeley (1996) getrennte kognitive Strukturen für die Verarbeitung auditiver und visueller Informationen. Im Multiple Resource Modell von Wickens (2002) werden weiterhin auch die Repräsentationsform (verbal oder nonverbal), die erforderliche Kommunikationsleistung (Input oder Output) und der Bereich des Blickfeldes (Fokus oder Peripherie) unterschieden. Entscheidend ist dabei, dass die jeweiligen Kategorien über eigene Verarbeitungskapazitäten verfügen (Wickens, 2002).

Die Verarbeitungsprozesse zur Bewältigung von zwei konkurrierenden Aufgaben können nach Sweller (1988) parallel erfolgen. Dabei lastet erstere, die Primärleistung, die begrenzte Kapazität ihrem Bedarf entsprechend aus. Für letztere, die Sekundärleistung, steht lediglich die verbleibende Kapazität zur Verfügung. Ist diese zu gering, führt dies zu Fehlern in der Bearbeitung der betreffenden Aufgabe (Sweller, 1988).

Die Modellierung von Sweller (1988) beinhaltet die Vorstellung, dass innerhalb einer einzelnen Struktur unterschiedliche Prozesse gleichzeitig erfolgen können. Sie entspricht dem wörtlichen Verständnis von Multitasking. Dieses Verständnis wird jedoch von manchen Autoren (s. bspw. Kirschner & De Bruyckere, 2017; Salvucci & Taatgen, 2008; Skaugset et al., 2016) abgelehnt. Sie nehmen an, dass stattdessen frequentes Task-Switching erfolgt. Dabei werden die kognitiven Strukturen abwechselnd für die jeweiligen Aufgaben verfügbar gemacht. Ein Beispiel für ein dementsprechendes Modell ist die Threaded Cognition Theorie von Salvucci und Taatgen (2008). Die Autoren beschreiben die Struktur des mentalen Systems in Analogie zu einem Koch in einer Küche. Dabei steht der Koch für eine koordinierende Komponente, die verschiedene Arbeitsschritte nacheinander startet und die Zwischenergebnisse entgegennimmt, um sie dann dem nächsten Arbeitsschritt zuzuordnen. Die Küchengeräte stehen wiederum für ausführende Komponenten. Diese können Strukturen sein, die sensorische Informationen verarbeiten oder motorische Handlungen lenken. Wie

ein Koch und seine Küchengeräte können die jeweiligen Komponenten – wenn auch parallel zueinander – immer nur einen Arbeitsschritt zu einer Zeit ausführen (Salvucci & Taatgen, 2008).

Sowohl die Vorstellung parallel ablaufender kognitiver Prozesse innerhalb einer begrenzten Struktur (wie bspw. beschrieben von Sweller, 1988) als auch die Vorstellung nacheinander ablaufender Prozesse (wie bspw. beschrieben von Salvucci & Taatgen, 2008) können zur Erklärung der Auswirkung von Distraction auf das Lernen herangezogen werden. Dafür soll im Folgenden beispielhaft eine Situation diskutiert werden, in der sich das Lern- und Distaktionsverhalten ähneln: Eine Person hört (scheinbar) gleichzeitig einem herausfordernden Lehrvortrag und einem Privatgespräch zu.

Gemäß der Modellierung von Sweller (1988) ist es zunächst erforderlich die Primärleistung zu bestimmen. Sie besteht hier im Belauschen des Privatgesprächs. Diesem zu folgen beansprucht die verfügbare Kapazität dem Bedarf entsprechend. Die Leistung wird somit fehlerfrei erbracht. Es ist also zu erwarten, dass die Person den Inhalt des Gesprächs im Nachhinein umfassend wiedergeben kann. Anders verhält es sich mit der Sekundärleistung, dem Nachvollziehen des Lehrvortrags. Gemäß der Modellierung steht ihr lediglich die verbleibende Kapazität zur Verfügung. Diese ist zu gering ausgeprägt, insbesondere weil der komplexe Lehrvortrag weitreichende kognitive Kapazitäten erfordert. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Person die entsprechenden Inhalte im Nachhinein weder umfassend noch fehlerfrei wiedergeben kann.

Aus der Modellierung nach Salvucci und Taatgen (2008) folgt hingegen, dass keine der beiden Leistungen umfassend erbracht wird. Sowohl das Nachvollziehen des Lehrvortrags als auch des Privatgesprächs erfordern den Einsatz einer Komponente zur Wahrnehmung auditiver Informationen. Diese wird abwechselnd zur Entschlüsselung der beiden auditiven Signale eingesetzt. Der Person fehlen somit Informationen aus beiden Beiträgen.

Sowohl die Modellierung von Multitasking (s. Sweller, 1988) als auch von Task-Switching (s. Salvucci & Taatgen, 2008) führt in Verbindung mit der Annahme begrenzter Ressourcen zu der Schlussfolgerung, dass Distraction insbesondere dann lernhinderlich ist, wenn der Lernprozess ein hohes Maß an kognitiven Kapazitäten erfordert. Wie in einem Zitat von Mayer und Moreno (2003) deutlich wird, zeichnet sich gewinnbringendes Lernen jedoch durch eben diese Anforderung aus: „[M]eaningful learning often requires substantial cognitive

Zitat	Forschungsfeld
„One such condition (...) may relate to ‚idle time‘ in the classroom, for instance, when children are waiting between tasks or for the teacher to help them“ (Imeraj et al., 2016, S. 72)	Schulforschung
„Examples of service-sector idle time include call center agents waiting for customers to call during slow periods and investment bankers waiting for client information to build a model“ (Brodsky & Amabile, 2018, S. 496)	Arbeitsplatzforschung

Tabelle 2.1: Beispiele für die Anwendung des Leerlauf-Begriffs

processing“ (S. 45). Gewinnbringendes Lernen und Distraction scheinen demnach unvereinbar.

2.2 Leerlauf-Tätigkeiten

Im Gegensatz zur Distraction sind Leerlauf-Tätigkeiten im schulischen Kontext kaum untersucht. So konnte lediglich eine Veröffentlichung zu diesem Thema (genauer Imeraj et al., 2016) in einer umfangreichen Literaturrecherche auffindig gemacht werden. Das karge Rechercheergebnis ist angesichts der Erkenntnisse der Unterrichtsqualitätsforschung nicht verwunderlich. So betonen verschiedene Autoren (s. bspw. Hattie & Yates, 2013; Helmke, 2022; Meyer, 2014) die Relevanz der aktiven Lernzeit für den Lernerfolg. Dass Leerlauf dennoch im Unterricht auftritt, konnte von Imeraj et al. (2016) nachgewiesen werden. Die Autoren beobachteten Lernende im regulären Unterricht. Ihre Analyse ergab, dass 12% des Unterrichts von Leerlauf geprägt waren.

Der Nachweis über das Erscheinen von Leerlauf im Unterricht untermauert die Relevanz des in Kapitel 1.3 skizzierten Interesses, die Tätigkeiten von Lernenden in Leerlauf-Phasen zu untersuchen. Um die theoretische Fundierung dieser Analyse zu stärken, wurde die Literaturrecherche auf weitere Themenfelder ausgeweitet. Dies ergab zusätzliche Veröffentlichungen aus dem Bereich der Arbeitsplatzforschung (genauer Brodsky & Amabile, 2018; Lei et al., 2019; Schubert et al., 2023; Zeschke & Zacher, 2023). In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse aus beiden Forschungskontexten beschrieben. Dabei wird

die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Arbeitsplatzforschung auf den schulischen Kontext kritisch analysiert.

2.2.1 Begriffsdefinition

Die Entwicklung einer Definition des zusammengesetzten Begriffs Leerlauf-Tätigkeiten erfordert eine sukzessive Betrachtung der darin enthaltenen Begriffskomponenten. So wird hier zunächst der Leerlaufbegriff beleuchtet. Er wird in der Schul- und Arbeitsplatzforschung auf ähnliche Situationen angewendet. So nennen sowohl Imeraj et al. (2016) als auch Brodsky und Amabile (2018) beispielhaft Situationen, die durch Warten gekennzeichnet sind (s. Tab. 2.1). Dabei handelt es sich sowohl um das Warten auf Arbeitsaufträge als auch um das Warten auf geeignete Arbeitsbefähigungen.

Entsprechend der einheitlichen Verwendung des Begriffs weisen die jeweiligen Definitionen weitreichende Ähnlichkeiten auf. Gemäß seiner englischsprachigen Bezeichnung – *idle time* bzw. *downtime* – wird Leerlauf als Phase beschrieben. Hinsichtlich deren charakteristischen Eigenschaften legen die Autoren jedoch unterschiedliche Schwerpunkte. So stellen Imeraj et al. (2016) den Grad der Aktivierung in den Vordergrund: „*idle time* – periods when students are not actively engaged“ (S. 71). Die Definition von Lei et al. (2019) stützt sich hingegen auf die Menge zu erledigender Aufgaben: „Here, we term these periods of low workload experiences of ‚downtime‘ at work“ (S. 361). Brodsky und Amabile (2018) sehen wiederum die Ausprägung des Handlungsspielraums als entscheidend an: „We define *idle time* as a period of involuntary *downtime* during which in-role tasks cannot be done“ (S. 496). Mit ihrer Definition machen sie unter anderem deutlich, dass Leerlauf nicht auf eigene Handlungsentscheidungen zurückzuführen ist. In diesem Punkt stimmen sie mit Schubert et al. (2023) überein, deren Definition weitreichende Ähnlichkeiten aufweist: „*Idle time* at work is a phase of involuntary *downtime* during which employees experience that they cannot carry out their work tasks“ (S. 11871).

Die Konkretisierung, dass Leerlauf unfreiwillig in Erscheinung tritt, ist entscheidend für dessen Abgrenzung gegenüber verwandten Phasen wie Pausen und Zeiträumen der Arbeitsvermeidung, die nach Lei et al. (2019) und Schubert et al. (2023) dem Leerlauf nicht gleichzusetzen sind. Eine solche Abgrenzung ist für die Analysen in der vorliegenden Arbeit relevant, weil die Pausen

im Schulkontext durch auditive Signale von den Arbeitsphasen getrennt sind und Arbeitsvermeidung zu Gunsten nicht-aufgabenbezogener Handlungen als Distraction gewertet wird. Folglich wird hier eine Definition gebraucht, die der Definition der Autoren Brodsky und Amabile (2018) und Schubert et al. (2023) darin ähnelt, dass sie die Hinderung von Arbeitstätigkeiten in den Vordergrund stellt. Sie ist weiterhin spezifisch für die Anwendung im Schulkontext formuliert und lautet: Leerlauf ist eine Unterrichtsphase, in der Lernende keine Aufgaben bearbeiten können.

Die hiesige Definition nennt keine Ursachen für die Entstehung von Leerlauf. Diese können im Fehlen von Aufgaben oder im Vorliegen von Bearbeitungshindernissen bestehen. In beiden Fällen liegen Situationsmerkmale vor, die nach Imeraj et al. (2016) typisch für den Leerlauf sind: Die Lernenden haben lediglich eine vage Orientierung zur Ausrichtung ihres Verhaltens. Dieses Verhalten wird schließlich durch den Begriff Leerlauf-Tätigkeiten gekennzeichnet. Er meint alle Handlungen, die innerhalb von Leerlauf-Situationen ausgeführt werden. In Anlehnung an die Verhaltenskategorisierung von Wilson et al. (2014) können sie extern, das heißt von der Interaktion mit der Umgebung geprägt, oder intern, das heißt der Umgebung verschlossen, sein. Sie können weiterhin einen sozialen oder nicht-sozialen Charakter haben (Wilson et al., 2014).

2.2.2 Empirische Studien über die Auswirkungen von Leerlauf-Tätigkeiten

Entsprechend der zweistufigen Begriffsdefinition wird die Wirkung von Leerlauf-Tätigkeiten in aufeinander aufbauenden Schritten untersucht. Dabei wird zunächst die Wirkung von Leerlauf betrachtet, um anschließend auf die Wirkung der Tätigkeiten in den betreffenden Phasen einzugehen.

Die Studien aus dem Bereich der Arbeitsplatzforschung legen nahe, dass Leerlauf negative Konsequenzen hat. So konnte nachgewiesen werden, dass Leerlauf mit einer geminderten Produktivität (Brodsky & Amabile, 2018; Lei et al., 2019) sowie mit einer verringerten Arbeitszufriedenheit und dem Empfinden von Langeweile (Lei et al., 2019; Zeschke & Zacher, 2023) einhergeht.

In ihrer Modellierung dieser Effekte (s. Abb. 2.2) machen Schubert et al. (2023) eine konzeptuelle Unterscheidung zwischen dem subjektiven und objektiven Leerlauf. Ihnen zufolge bezeichnet der objektive Leerlauf einen Mangel

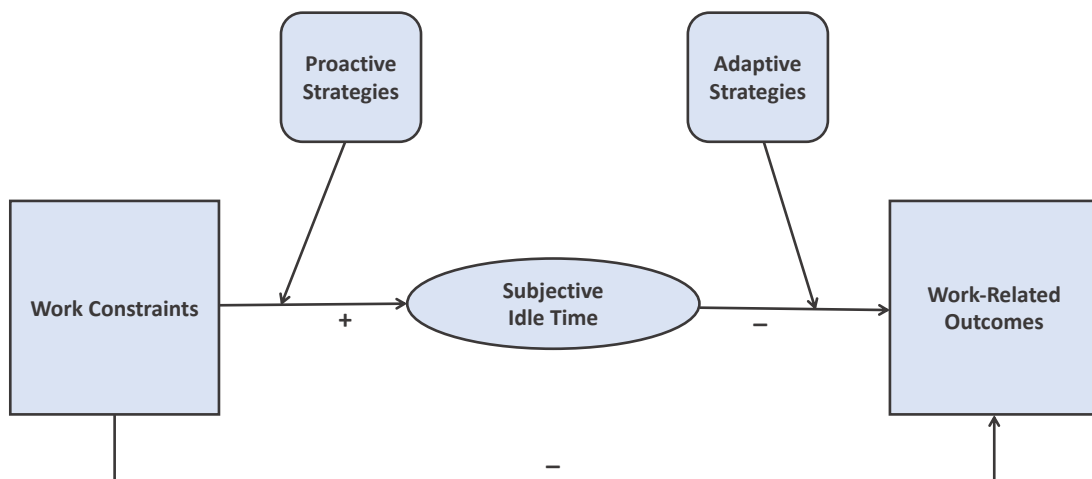


Abbildung 2.2: Die Wirkungsweise von Leerlauf(-Tätigkeiten). Abbildung erstellt nach Schubert et al. (2023, S. 11874, Abb. 1).

an Beschäftigungsmöglichkeiten und der subjektive Leerlauf die Wahrnehmung dieses Mangels von den Betroffenen. Nur der subjektive Leerlauf führt den Autoren zufolge zu den negativen Konsequenzen.

Im Kontext des subjektiven Leerlaufs sind die ausgeführten Tätigkeiten nach Schubert et al. (2023) als Teil einer adaptiven Strategie zu verstehen. Diese umfasst eine Änderung der Zielsetzung. Anstelle der erfolgreichen Bearbeitung von Aufgaben streben die Betroffenen nun die Bewältigung der Leerlauf-Situation an. Auf diese Weise kann die negative Auswirkung des Leerlaufs gemindert werden (Schubert et al., 2023). Laut Lei et al. (2019) ist dieser positive Effekt jedoch lediglich für Erholungstätigkeiten zu verzeichnen.

Die Erkenntnisse aus der Arbeitsplatzforschung sind an ihren spezifischen Kontext gebunden. Inwieweit sie auf den schulischen Kontext übertragen werden können, bleibt daher fraglich. Vor dem Hintergrund einer Aussage von Zeschke und Zacher (2023) erscheint eine solche Übertragung sogar unmöglich. Laut den Autoren spielen kontextuelle Bedingungen bei der Wahrnehmung von Leerlauf eine entscheidende Rolle. Diesbezüglich zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen Schule und Arbeitsplatz. Beispielsweise ist der Arbeitsplatz mit einer finanziellen Entlohnung verbunden, die sich nach Lei et al. (2019) auf die Wahrnehmung von Leerlauf-Situationen auswirkt.

Angesichts der Unterschiede zwischen Schule und Arbeitsplatz ist es also möglich, dass Lernende den Leerlauf – im Gegensatz zu Beschäftigten – als positiv

empfinden. Diese Möglichkeit wird auch von Imeraj et al. (2016) in Betracht gezogen. Dennoch machen die Autoren deutlich, dass sie das Gegenteil für naheliegender halten.

In Anbetracht der Ergebnisse von Wilson et al. (2014) erscheint es sogar wahrscheinlich, dass Lernende den unterrichtlichen Leerlauf negativ wahrnehmen. Die Autoren untersuchten das Empfinden von Personen in Wartesituationen. In den experimentellen Settings durften die Probanden nichts tun außer zu sitzen und zu denken. Die anschließende Bewertung dieser Situationen zeigte negative Einschätzungen. Sich einfach in den eigenen Gedanken zu verlieren wurde als unangenehme Erfahrung eingestuft. Dies galt unabhängig vom Ort (im Labor oder zu Hause) und Alter (Studieren oder gemischte Altersgruppe) der Probanden. Bemerkenswert ist insbesondere das Ergebnis aus einem Teil der Studienreihe, in der sich die Probanden mit Elektroschocks zur Selbstanwendung beschäftigen konnten. Diese Art der negativen Stimulation wurde von mehreren Probanden genutzt. Die Autoren resümieren: „Most people seem to prefer to be doing something rather than nothing, even if that something is negative“ (Wilson et al., 2014, S. 75).

Wie Lernende den unterrichtlichen Leerlauf empfinden, ist letztlich nicht empirisch belegt. Wie sie sich in Leerlauf-Situationen verhalten wurde in der Beobachtungsstudie von Imeraj et al. (2016) hingegen untersucht. Die Autoren verzeichneten einen gruppenübergreifenden Zuwachs an Hyperaktivität und störendem Sozialverhalten. Die Lernenden neigen in Leerlauf-Situationen demnach zu disruptivem Verhalten. Inwiefern dieses Verhalten im Sinne der von Schubert et al. (2023) definierten adaptiven Strategien zu einer Veränderung ihres Situationsempfindens beiträgt, bleibt unklar.

3 Datenerhebung

Die vorliegende Arbeit verwendet Daten aus der ersten Erhebungsphase des Forschungsverbundprojekts *smart for science*. Diesem Projekt gehören Mitarbeitende des *Instituts für Didaktik der Chemie* (AG Marohn), des *Instituts für Didaktik der Mathematik und Informatik* (AG Greefrath), des *Instituts für Didaktik der Physik* (AG Heusler und AG Heinicke), des *Instituts für Psychologie in Bildung und Erziehung* (AG Souvignier), des *Instituts für Kommunikationswissenschaft* (AG Quandt) und des Schülerlabors *MExLab ExperiMINTe* (AG Denz) an. Sie haben die hier dargestellte Datenerhebung gemeinsam konzipiert und durchgeführt. Die Teilhabe an dieser Gemeinschaftsleistung ist ebenso Bestandteil der hier vorgestellten Promotionsleistung wie die eigenständige Entwicklung von Lernmaterialien (s. Kapitel 3.4) und eines Workshops (s. Kapitel 3.5) als Kontext zur Datenerhebung.

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen einer Vorerhebung und einer Haupterhebung mit Workshops in den Fächern Chemie, Mathematik und Physik. Die folgende Darstellung beschränkt sich auf die projektübergreifenden und fachspezifischen Aspekte, die in Verbindung mit der chemiebezogenen Datenerhebung stehen. Das betreffende Vorgehen wurde in komprimierter Form bereits in verschiedenen Artikeln (s. bspw. F. Kremer & Marohn, 2022a, 2022b; F. E. Kremer & Marohn, 2023) veröffentlicht. Ein weiterer Artikel mit entsprechenden Inhalten (genauer F. E. Kremer et al., unveröffentlichtes Manuskript) befindet sich zurzeit in Bearbeitung.

3.1 Teilnehmende

An der chemiebezogenen Datenerhebung der ersten Erhebungsphase von *smart for science* nahmen insgesamt neunzehn Lerngruppen teil. Dazu zählen dreizehn neunte Klassen, ein Wahlpflichtkurs der neunten Klassenstufe und vier achte

Klassen aus Gymnasien der Stadt Münster und der näheren Umgebung sowie eine neunte Klasse aus einer Gesamtschule im Ruhrgebiet.

Im Rahmen der Datenauswertung wurden unterschiedliche Stichproben aus dem verfügbaren Datensatz genutzt. Aus diesem Grund wird auf eine nähere Beschreibung der Teilnehmenden an dieser Stelle verzichtet. Stattdessen erfolgen Stichprobenbeschreibungen in den Kapiteln der jeweiligen Studien.

3.2 Ablauf und Design

Die Datenerhebung erfolgte innerhalb eines quasi-experimentellen Forschungsdesigns. Darin wurden die Bereitstellungsbedingungen BYOD und Pool miteinander verglichen. Dieser Vergleich erfolgte im Kontext eines digital gestützten Workshops (dargestellt in Kapitel 3.5), der die Verwendung von digitalen Endgeräten häufig erforderlich machte. Beispielhaft wurden dabei ausschließlich Smartphones genutzt. So arbeiteten die Lernenden in der BYOD-Bedingung mit ihren eigenen Smartphones, wohingegen die Lernenden in der Pool-Bedingung mit Smartphones arbeiteten, die vom Forschungsteam bereitgestellt wurden.

Die ausschließliche Verwendung von Smartphones als Beispiel für digitale Endgeräte war hier notwendig, um die Bereitstellungsformen trennscharf abzubilden und die Datenerhebung praktikabel zu gestalten. So hätte die Verwendung verschiedener Gerätetypen innerhalb eines Workshops nicht den Definitionen von BYOD und Pool entsprochen. Die notwendige Eingrenzung wurde auf das Smartphone festgelegt, weil dieser Gerätetyp in der zugrunde liegenden Population am weitesten verbreitet ist. So geht aus der *JIM-Studie* (s. Feierabend et al., 2020) hervor, dass im Jahr 2020, in dem die Datenerhebung begann, 91% der 12- bis 13-Jährigen und 96% der 14- bis 15-Jährigen ein eigenes Smartphone besaßen. Im Gegensatz dazu war der Anteil der Jugendlichen, die ein Tablet oder einen Laptop besaßen, laut derselben Studie deutlich geringer. Die Datenerhebung, in der die Lernenden randomisiert auf die Experimentalbedingungen verteilt wurden, war daher am ehesten am Beispiel von Smartphones realisierbar.

Die Datenerhebung begann mit der Rekrutierung von Lernenden. Dazu wurden Einladungen und Workshopinformationen an Schulleitungen und Fachbeauftragte von Gesamtschulen und Gymnasien im Regierungsbezirk Münster, Nordrhein-Westfalen versandt. Die Einladungen wurden genauer an Lernende

der achten und neunten Klasse gerichtet. Die Verantwortlichen der Schulen meldeten ihre Klassen zur Teilnahme an einem oder mehreren der angebotenen Workshops in den Fächern Chemie, Mathematik und Physik an. Die Lernenden und ihre Eltern füllten daraufhin Einwilligungen zur Datenerhebung nach freiem Willen aus. Die Teilnahme an den Workshops und den Datenerhebungen wurde nur dann gestattet, wenn die Einwilligungen zur Datenerhebung von den Eltern und den Lernenden selbst unterschrieben und eingereicht waren.

Die Datenerhebung (s. übersichtsweise Abb. 3.1) erstreckte sich für jede Klasse über zwei Tage, deren Terminierung in Absprache mit den Verantwortlichen der Schulen individuell gestaltet wurde. Die Programmpunkte des ersten Tages beinhalteten einen Vortrag über das Forschungsprojekt und die Workshopinhalte, das Bearbeiten der Testhefte 1 und 2 (TH 1 einsehbar in Anhang 8.4, TH 2 aus urheberrechtlichen Gründen von Einsicht ausgeschlossen) und das Aufsetzen von Kamerabrillen zur Einführung in die Methodik der Videodatenerhebung. Auf diese Weise sollte die Motivation zur Teilnahme am Workshop gestärkt, die Datenerhebung am Workshoptag reduziert und die Bereitwilligkeit zum Tragen einer Kamerabrille während des Workshops erhöht werden. Weiterhin wurde eine Packliste ausgeteilt, um einen möglichst störungsfreien Ablauf des Workshops sicherzustellen.

Die Datenerhebung an Tag 1, die im Folgenden als Vorerhebung bezeichnet wird, dauerte eine Schulstunde und wurde während der regulären Unterrichtszeit innerhalb der Schulen durchgeführt. Die Datenerhebung an Tag 2, die im Folgenden als Haupterhebung bezeichnet wird, dauerte ungefähr vier Zeitstunden und wurde ebenfalls in die reguläre Unterrichtszeit integriert. Dabei wurde das Pausenraster der Schulen eingehalten.

Für die Haupterhebung wurden zwei nebeneinanderliegende Klassen- oder Fachräume in den Schulen genutzt. Diese wurden im Vorhinein für die Workshopdurchführung optimiert. Die Optimierung der Räume beinhaltete das Aufstellen von Partnertischen und die Bereitstellung von Labor- und Schreibmaterial. Auf diese Weise sollte eine Angleichung der Räumlichkeiten unterschiedlicher Klassen ermöglicht und der organisatorische Zeitaufwand während der Haupterhebung reduziert werden.

Zu Beginn der Haupterhebung wurden die Lernenden den Räumen und somit den experimentellen Bedingungen zugewiesen. Die Zuteilung wurde im Vorhinein mit Hilfe eines Zufallsgenerators festgelegt. Die Wahl des Sitzplatzes inner-

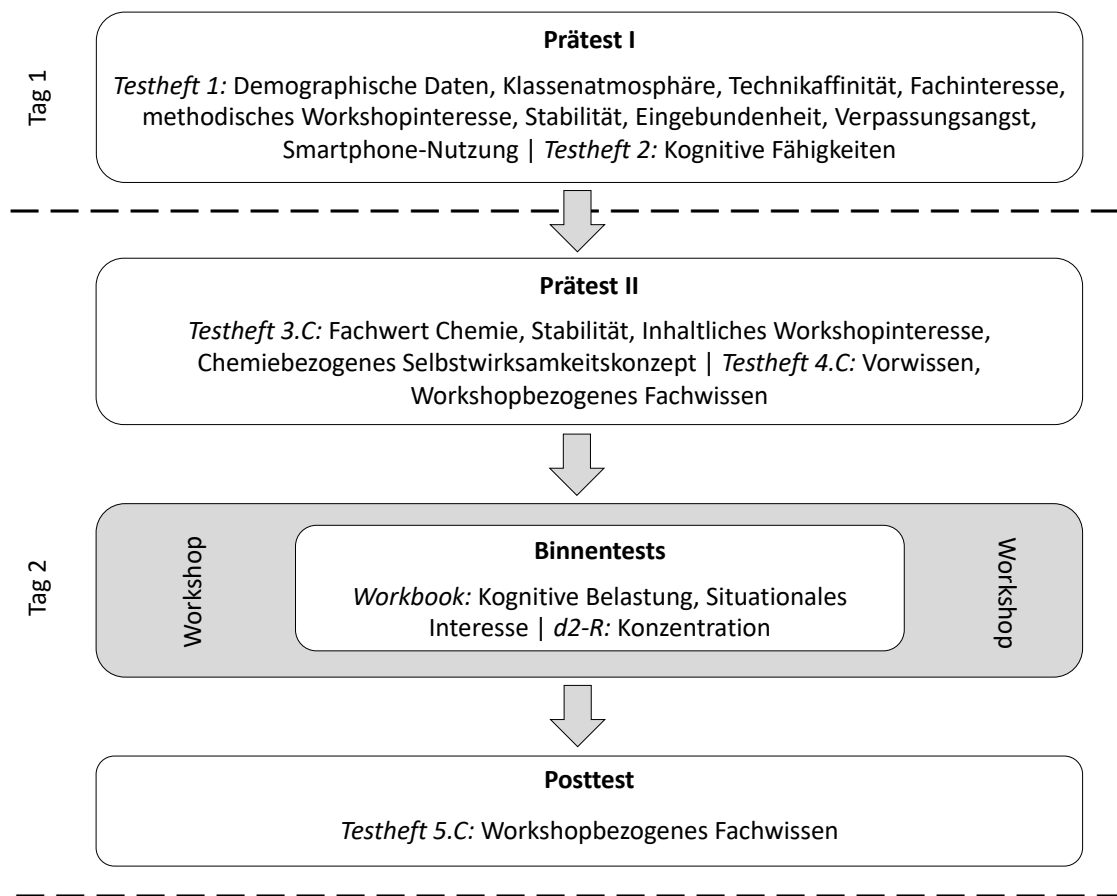


Abbildung 3.1: Ablauf der Datenerhebung

halb eines zugewiesenen Raumes oblag den Lernenden selbst. Den betreuenden Lehrpersonen wurde hingegen ein Sitzplatz zugewiesen. Ihnen wurde weiterhin ein Informationsblatt ausgeteilt, das über das Projekt informierte und die Workshopleitung bei den Projektbeteiligten verortete. Auf diese Weise sollte ein Übermaß an Betreuung vermieden werden.

Die Haupterhebung begann mit organisatorischen Programmpunkten wie dem Beschriften von Namensschildern, der Darstellung der geltenden Workshop-Regeln und dem Einloggen in das projekteigene WLAN. In der ersten Erhebungsphase wurden in der Pool-Bedingung weiterhin die Smartphones der Lernenden eingesammelt und projekteigene Smartphones ausgeteilt. Die projekteigenen Smartphones entsprachen den Smartphones der Lernenden in deren Betriebssystem. Auf diese Weise wurde lediglich die Bereitstellungsform, nicht aber die Gewöhnung an das Betriebssystem manipuliert. Die Lernenden der Pool-Bedingung erhielten ihre Smartphones am Ende des Workshops zurück.

Ein weiterer organisatorischer Programmpunkt war das Austeilen von Kamerabrillen. Das Tragen von Kamerabrillen erfolgte freiwillig, wurde jedoch mit einer Powerbank als Gegenleistung motiviert. Den Lernenden wurde mitgeteilt, dass sie eine Powerbank erhalten würden, wenn sie die Kamerabrillen innerhalb des gesamten Workshops tragen würden. Weiterhin wurde betont, dass der Schutz der Privatsphäre der Lernenden durch die Verzerrung des Kamerabildes erhalten bleibt. Den Lernenden wurde eine Kamerabrille ausgeteilt, wenn sie sich zum Tragen einer solchen bereiterklärten. Die Kamerabrillen wurden durchgängig während des Workshops, jedoch nicht während der Pausen, der Laboreinheit und der Durchführung der Prä-, Post- und Konzentrationstests getragen.

Entsprechend dem festgelegten Ablauf der Datenerhebung (s. Abb. 3.1) bearbeiteten die Lernenden die Testhefte 3.C und 4.C (einsehbar in Anhang 8.5 und 8.6) bevor der digital gestützte Workshop begann. Der Workshop erfolgte in den unterschiedlichen Bedingungen gemäß ihren festgelegten Spezifikationen. Während des Workshops erfolgten weitere Datenerhebungen anhand der aufgabenbezogenen Instrumente im Workbook (einsehbar in Anhang 8.2) und dem Konzentrationstest d2-R (aus urheberrechtlichen Gründen von Einsicht ausgeschlossen). Die Datenerhebung schloss mit der Bearbeitung von Testheft 5.C (einsehbar in Anhang 8.7) ab.

3.3 Erhebungsinstrumente und -technik

3.3.1 Paper-Pencil-Befragungen

Im Rahmen der Datenerhebung wurde eine Vielzahl von Paper-Pencil-Befragungen durchgeführt. Die jeweiligen Erhebungsinstrumente sind in den Testheften (einsehbar in Anhang 8.4 bis 8.7) und dem Workbook (einsehbar in Anhang 8.2) enthalten. Wie sie zu bearbeiten und zu codieren sind, wurde in Leitfäden festgehalten, die zur projektübergreifenden Vereinheitlichung beitragen.

Die Erhebungsinstrumente werden hier unter Angabe ihrer internen Konsistenz als Gütemaß beschrieben. Genauer wird die interne Konsistenz derjenigen Konstrukte angegeben, die für die vorliegende Arbeit relevant sind. Dazu gehören die Hintergrundmerkmale und das workshopbezogene Fachwissen. Als Maß für die interne Konsistenz wird McDonalds Omega (ω) verwendet, das nach Kalkbrenner (2021) auf weniger Vorannahmen beruht als das üblicherweise verwendete Maß Cronbachs Alpha (α). Der Autor bewertet eine interne Konsistenz im Bereich $0,65 < \omega \leq 0,80$ als akzeptabel und im Bereich $\omega > 0,80$ als hoch. Diese Bewertung wird im Folgenden übernommen. Die Berechnung der internen Konsistenz basiert auf dem Datensatz, der in Kapitel 3.6) konkretisiert wird. Sie berücksichtigt alle Lernenden mit manualkonformer Workshopdurchführung auf individueller, Gruppen- und Klassenebene. Im Folgenden werden die Erhebungsinstrumente in alphabetischer Reihenfolge beschrieben:

Chemiebezogenes Selbstwirksamkeitskonzept

Das chemiebezogene Selbstwirksamkeitskonzept wurde mit einer angepassten Version des Subinstruments *Self Efficacy* des Instruments *Students Motivation Towards Science Learning (SMTSK)* von Tuan et al. (2005) erhoben. Die Originalversion besteht aus sieben Items, die jeweils auf einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz des Subinstruments wird von den Autoren mit $\alpha = 0,89$ als zufriedenstellend eingeschätzt. Es wurde hier abweichend vom Original in deutscher Übersetzung und mit Chemiebezug präsentiert. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments wird hier mit $\omega = 0,74$ als ausreichend bewertet. Es ist in Testheft 3 unter Punkt 4 dargestellt.

Demographische Daten

Die demographischen Daten wurden mit Hilfe von drei Items erhoben. Im Einzelnen wurde das Geschlecht der Teilnehmenden anhand eines Multiple-Choice-Items mit den drei Optionen weiblich, männlich und divers erhoben. Ferner wurden das Alter der Teilnehmenden und ihre Muttersprache mit jeweils einem offenen Textfeld erhoben. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 1 dargestellt.

Eingebundenheit

Die Eingebundenheit wurde in invertierter Form mit dem Instrument *Three-Item Loneliness Scale* von Hughes et al. (2004) erhoben. Das Instrument besteht aus drei Items, die auf einer dreistufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz wird von den Autoren mit $\alpha = 0,72$ als gut eingeschätzt. Die Präsentation der Items erfolgte hier in deutscher Sprache in einer Übersetzung nach Reer et al. (2019) und wurde abweichend vom Original auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Die Berechnung der internen Konsistenz des eingesetzten Instruments ergab mit $\omega = 0,59$ einen Wert, der hier als unzureichend bewertet wird. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 7 dargestellt.

Fachinteresse

Das Fachinteresse wurde für sechs verschiedene Fächer – Chemie, Mathematik, Physik, Deutsch, Geschichte und Sport – durch jeweils ein selbst konstruiertes Item in Anlehnung an Krapp (1992) erhoben. Die Items basieren genauer auf dem Verständnis des individuellen Interesses, das der Autor als „persönlichkeitsspezifisches Merkmal des Lerner, z.B. als relativ stabile Präferenzen für einen bestimmten Lerngegenstand“ (Krapp, 1992, S. 748) definiert. Die Items werden auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Zusätzlich gibt es eine Möglichkeit anzugeben, dass das Fach noch nicht belegt wurde. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 4 dargestellt.

Fachwert

Der Fachwert wurde mit einer angepassten Version des Subinstruments *Science Learning Value* des Instruments *Students' Motivation Towards Science Learning (SMTSK)* von Tuan et al. (2005) erhoben. Das ursprüngliche Subinstrument besteht aus fünf Items, die jeweils auf einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Seine interne Konsistenz wird von den Autoren mit $\alpha = 0,66$ als zufriedenstellend bewertet. Die Präsentation der Items erfolgte hier in deutscher

Sprache und abweichend vom Original mit einem Chemie-Bezug. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments wird hier mit $\omega = 0,83$ als hoch eingeschätzt. Es ist in Testheft 3.C unter Punkt 1 dargestellt.

Inhaltliches Workshopinteresse

Das inhaltliche Workshopinteresse wurde summativ über drei Workshopinhalte – die effiziente Nutzung von Energie beim Fahren mit einem Elektroauto, das Funktionsprinzip eines Lithium-Ionen-Akkumulators und die Bedingungen für eine große Reichweite – erhoben. Den drei inhaltlichen Aspekten sind jeweils zwei Items zugeordnet, von denen eines die Spannung und das andere die Relevanz erfasst. Die Items wurden in Anlehnung an das Verständnis des individuellen Interesses von Krapp (1992) für die Erhebung selbst konstruiert. Sie werden auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Zusätzlich gibt es eine Möglichkeit anzugeben, dass die erforderliche Einschätzung nicht möglich ist. Die interne Konsistenz des Instruments wird hier mit $\omega = 0,86$ als stark bewertet. Das Instrument wird in Testheft 3.C unter Punkt 3 dargestellt.

Klassenatmosphäre

Die Klassenatmosphäre wurde mit dem Subinstrument *Normen* des Instruments *Qualität in Schulen* von Radinger (2005) erhoben. Es besteht aus sechs Items, die auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz wird von den Autoren mit $\alpha = 0,67$ als ausreichend eingeschätzt. Die Berechnung der internen Konsistenz ergab mit $\omega = 0,64$ einen Wert, der hier als unzureichend bewertet wird. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 2 dargestellt.

Kognitive Belastung

Die kognitive Belastung wurde mit dem Instrument *Mental-effort rating scale* von Paas (1992) erhoben. Es besteht aus einem Item, das auf einer neunstufigen Likert-Skala beantwortet wird. Das Item fragt nach der Einschätzung der kognitiven Belastung, die durch die Bearbeitung einer Aufgabe hervorgerufen wird. Seine Präsentation erfolgte hier in deutscher Sprache an verschiedenen Stellen des Workbooks. In den jeweiligen Fragebatterien handelt es sich um das erste Item.

Kognitive Fähigkeiten

Die kognitiven Fähigkeiten wurden anhand von zwei Subinstrumenten des Instruments *Culture Fair Intelligence Test (CFT 20-R)* von Weiss (2019) erhoben. Das Originalinstrument besteht aus zwei Teilen, die jeweils vier Subinstrumente mit unterschiedlichen Aufgabentypen beinhalten. Aus dem ersten Teil wurden zwei Subtests entnommen. Diese bestehen jeweils aus fünfzehn Items mit fünf Antwortmöglichkeiten. Der erste entnommene Subtest erfordert das Fortsetzen von Symbolreihen und der zweite das Vervollständigen von Symbolmatrizen. Ergänzt werden die Subtests durch jeweils drei Aufgabenbeispiele, die vor Beginn der Tests bearbeitet und mit einer Rückmeldung der workshopleitenden Person versehen werden. Die daran anschließende Testbearbeitung erfolgt in stiller Einzelarbeit innerhalb eines Zeitlimits.

Die Auswertung des Instruments erfordert die Identifikation von korrekten Antworten, die jeweils mit einem Punkt in einen Summenscore, dem so genannten Rohwert, eingehen. Der Rohwert kann anschließend durch einen Abgleich mit einer Normentabelle in einen IQ-Wert überführt werden (Weiss, 2019). Eine vergleichbare Überführung ist aufgrund der limitierten Umsetzung des Originalinstruments hier jedoch nicht möglich. Die Subtests sind aus urheberrechtlichen Gründen nicht im Anhang der vorliegenden Arbeit aufgeführt.

Konzentration

Die Konzentration wurde anhand des Instruments *Test d2 – Revision Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (d2-R)* von Brickenkamp et al. (2010) erhoben. Es handelt sich um einen Durchstreichtest, der die Identifikation vorgegebener Symbole in Symbolreihen erfordert. Die Bearbeitung einer jeden Reihe wird dabei zeitlich eingeschränkt. Der Test ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht im Anhang der vorliegenden Arbeit aufgeführt.

Methodisches Workshopinteresse

Das methodische Workshopinteresse wurde auf Basis von drei Komponenten – der Nutzung von Smartphones, Simulationen und Lernvideos – mit jeweils einem Item erhoben. Die Items wurden in Anlehnung an das Verständnis des individuellen Interesses von Krapp (1992) selbst für die Erhebung konstruiert. Sie werden auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit anzugeben, dass die erforderliche Einschätzung nicht möglich ist. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments ergab mit $\omega = 0,52$

einen Wert, der hier als unzureichend bewertet wird. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 5 dargestellt.

Situationales Interesse

Das situationale Interesse bei der Bearbeitung der Workshop-Aufgaben wurde mit vier Items erhoben. Diese wurden in Anlehnung an Krapp (1992) selbst konstruiert. Die Items basieren genauer auf dem Verständnis der Interessantheit, die der Autor als „einen einmaligen, situationsspezifischen, motivationalen Zustand, der aus den besonderen Anreizbedingungen einer Lernsituation (Interessantheit) resultiert“ (Krapp, 1992, S. 748) definiert. Sie beziehen sich direkt auf die im Vorhinein bearbeitete Aufgabe und werden auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit anzugeben, dass die erforderliche Einschätzung nicht möglich ist. Die Items sind an verschiedenen Stellen im Workbook integriert. In den jeweiligen Fragebatterien handelt es sich um die Items zwei bis vier.

Smartphone-Nutzung

Die Smartphone-Nutzung wurde mit einem Instrument (dargestellt in Testheft 1 unter Punkt 9) bestehend aus drei Komponenten erhoben. Die erste Komponente erfasst die Nutzungsdauer und enthält zwei offene Textfelder. Das erste Textfeld dient der Angabe der allgemeinen durchschnittlichen wöchentlichen Nutzungsdauer. Das zweite Textfeld dient der Angabe der lernbezogenen durchschnittlichen wöchentlichen Nutzungsdauer.

Die zweite Komponente erfasst die Nutzungsart. Sie enthält eine angepasste Version des Instruments *Mobile Related Experiences Questionnaire* nach Beranuy et al. (2009). Dessen englische Übersetzung nach Panova et al. (2019) und Panova und Lleras (2016) wurde hier als Vorlage zur Übersetzung ins Deutsche genutzt. Die Items werden auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet. Sie wurden in geänderter Reihenfolge und mit zusätzlichen Items zur Erfassung der lernbezogenen Nutzung präsentiert.

Die dritte Komponente erfasst die Intensivnutzung, die mit einer angepassten Version des Instruments *Social Media Disorder Scale* von Van den Eijnden et al. (2016) erhoben wurde. Das Original-Instrument umfasst je ein Item mit dichotomer Antwortskala für neun Kriterien von Social Media-Sucht. Die Präsentation der Items erfolgte hier in deutscher Sprache in einer Übersetzung nach Reer et al. (2023) und geänderter Reihenfolge. Weiterhin wurde der So-

cial Media-Bezug durch einen Smartphonebezug ersetzt. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments ergab mit $\omega = 0,67$ einen Wert, der hier als akzeptabel bewertet wird.

Stabilität

Die Stabilität wurde in invertierter Form mit dem Instrument *Four-Item Patient Health Questionnaire (PHQ-4) for Anxiety and Depression* von Kroenke et al. (2009) erhoben. Es besteht aus je zwei Items zur Messung von Depression und Ängstlichkeit, die auf einer vierstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz schätzen die Autoren mit $\alpha = 0,80$ als gut ein. Die Präsentation der Items erfolgte hier in deutscher Sprache und geänderter Reihenfolge. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments wird hier mit $\omega = 0,85$ als stark bewertet. Die Items sind sowohl in Testheft 1 unter Punkt 6 als auch in Testheft 3.C unter Punkt 2 dargestellt.

Technikaffinität

Die Technikaffinität wurde mit einer angepassten Version des Subinstruments *Begeisterung* des Instruments *Fragebogen TA-EG* von Karrer et al. (2009) erhoben. Das Subinstrument besteht aus fünf Items, die auf einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz des Subinstruments schätzen die Autoren mit $\alpha = 0,89$ als sehr gut ein. Die Items wurden mit Ausnahme des vierten Items wörtlich übernommen. Im vierten Item wurde die Situationsbeschreibung entsprechend des aktuellen Zeitgeists im online-Handel lokalisiert. Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments wird hier mit $\omega = 0,85$ als stark bewertet. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 3 dargestellt.

Verpassungsangst

Die Verpassungsangst wurde anhand des Instruments *Fear of Missing Out scale* von Przybylski et al. (2013) erhoben. Es besteht aus zehn Items, die jeweils auf einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Die interne Konsistenz des Instruments schätzen die Autoren mit $\alpha = 0,87$ als gut ein. Die Präsentation der Items erfolgte hier in deutscher Sprache in einer Übersetzung nach Reer et al. (2019). Die interne Konsistenz des eingesetzten Instruments wird hier mit $\omega = 0,78$ als ausreichend bewertet. Die Items sind in Testheft 1 unter Punkt 8 dargestellt.

Vorwissen

Das Vorwissen wurde anhand eines selbst konstruierten Fachwissenstests erhoben. Dessen Konstruktion basiert auf der Identifikation des Wissens, das zum Verständnis der Workshopinhalte notwendig ist. Dazu wurden zunächst Begriffe identifiziert, die innerhalb des Workshops ohne Erläuterung genannt werden. Diese Begriffe wurden anschließend zu Themenblöcken zusammengefasst: den Ursachen und der Wirkung von elektrischer Ladung, dem Aufbau von Atomen, den Eigenschaften von Ionen und der Bedeutung des Reichweitebegriffs. Das Wissen über die vier Themenblöcke wurde anhand von vier Items mit unterschiedlichen Aufgabenformaten erhoben. Diese ähneln sich darin, dass korrekte und unkorrekte Antworten eindeutig identifizierbar sind. Korrekte Antworten werden mit je einem Punkt in einem Summenscore berücksichtigt. Die interne Konsistenz der Items wird hier mit $\omega = 0,79$ als akzeptabel eingeschätzt. Die Items sind im ersten Teil in Testheft 4.C dargestellt.

Workshopbezogenes Fachwissen

Das workshopbezogene Fachwissen wurde mit einem selbst konstruierten Fachwissenstest erhoben. Dessen Konstruktion basiert auf der Identifikation der Fachinhalte, die durch den Workshop vermittelt werden. Dabei handelt es sich sowohl um den Aufbau und das Funktionsprinzip von Akkumulatoren als auch um die Reichweitefaktoren und deren Bestwerte. Das Wissen über diese Inhalte wurde anhand von drei Items mit geschlossenen Aufgabenformaten erhoben. Diese ähneln sich darin, dass korrekte und unkorrekte Antworten eindeutig identifizierbar sind. Korrekte Antworten werden mit je einem Punkt in einem Summenscore berücksichtigt. Die interne Konsistenz der Items wurde anhand der Posttest-Daten berechnet. Sie wird hier mit $\omega = 0,82$ als stark eingeschätzt. Die Items sind im zweiten Teil von Testheft 4.C und in Testheft 5.C dargestellt.

3.3.2 Videographie

Zur Erhebung der Videodaten über das Sichtfeld der Teilnehmenden wurden Kamerabrillen des Modells HDC-700 der Marke OctaCam (s. Abb. 3.2) genutzt. Um eine Weitung des Bildfeldes und ein Verschwimmen des Bildmaterials zu erzielen, wurden Fisheye-Objektive direkt über dem brilleneigenen Objektiv angebracht. Das Verschwimmen des Bildmaterials mindert die Lesbarkeit von Tex-



Abbildung 3.2: Kamerabrille des Modells HDC-700 der Marke OctaCam mit daran angebrachtem Fisheye-Objektiv

ten auf Smartphones (s. Abb. 3.3) und soll die Privatsphäre der Teilnehmenden schützen.

3.4 Digitale Lernmedien

Die Datenerhebung im Forschungsprojekt *smart for science* erfolgte im Kontext digital gestützter Workshops zum Thema Elektromobilität. Die darin eingesetzten digitalen Lernmedien wurden als Teil der hier präsentierten Promotionsleistung eigenverantwortlich entwickelt. Sie thematisieren die Speicherung und nachhaltige Nutzung von elektrischer Energie und wurden in Form von einem Lernvideo, einer Simulation und vier Erklärtexten ausgearbeitet. Die inhaltliche und methodische Schwerpunktsetzung wurde ergänzend zu den Workshops der anderen Fächer innerhalb des Verbundprojekts festgelegt.

Die digitalen Lernmedien sind auf der projekteigenen Workshop-Website abrufbar und wurden in verschiedenen Artikeln (s. bspw. F. Kremer & Marohn, 2022a, 2022b) dargestellt. Ihre Konzeption wird im Folgenden beschrieben und begründet.

3.4.1 Lernvideo über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators

Der *smart for science* Workshop im Fach Chemie (s. Kapitel 3.5) beinhaltet den Bau eines Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators nach Klaus und Oetken (n. d.). Um dessen Funktionsprinzip zu erklären wurde ein Lernvideo (abrufbar

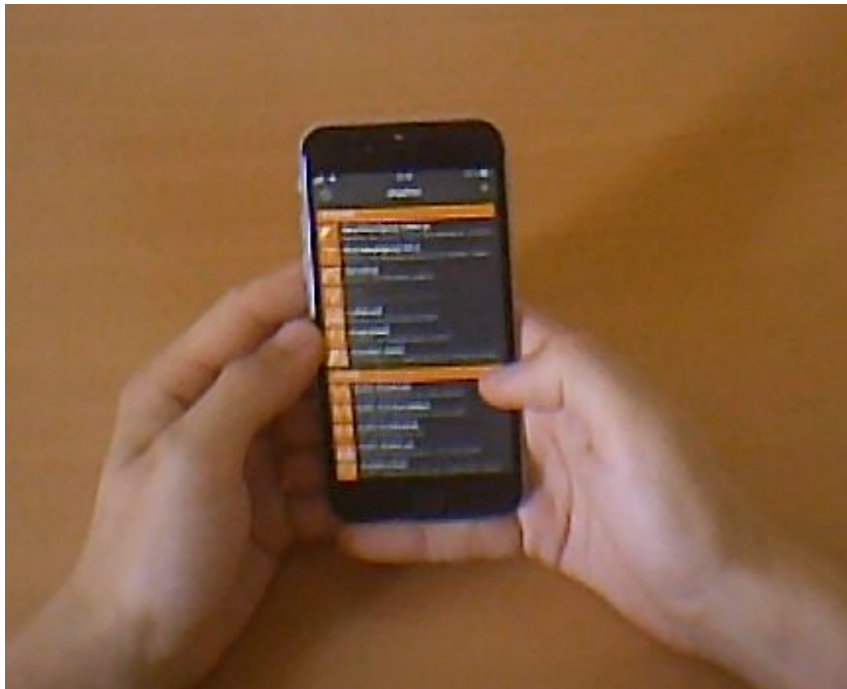


Abbildung 3.3: *Bildaufnahme einer Kamerabrille des Modells HDC-700 der Marke OctaCam mit Fisheye-Objektiv. Abbildung entnommen aus projekteigenem Material.*

unter QR-Code in Abb. 3.4) in Zusammenarbeit mit dem Mediendesigner Stefan Denecke entwickelt. Dieser übernahm die mediale Umsetzung des Videos auf Basis eines inhaltlichen Konzepts, das als Teil der hier präsentierten Promotionsleistung eigenverantwortlich ausgearbeitet wurde.

Das Lernvideo kann auch außerhalb des Workshops genutzt werden. Es trägt zur Erweiterung der Bandbreite frei zugänglicher Lernvideos bei, die sich in vielen Fällen (wie z.B. BASF, 2021; Chemie - simpleclub, 2017; Universität zu Köln, 2017) auf das Funktionsprinzip handelsüblicher Lithium-Ionen-Akkumulatoren beschränken. Deren Herstellung ist laut Klaus und Oetken (n.d.) im Gegensatz zu Lithium-Ionen-Legierungsakkumulatoren aufgrund des technischen Anspruchs und des Bedarfs an gesundheitsschädlichen Chemikalien jedoch nicht für den Unterricht geeignet.

Fachwissenschaftlicher Hintergrund

Akkumulatoren sind elektrochemische Zellen, die im Gegensatz zu Batterien wiederaufladbar sind (Kurzweil, 2020; Latscha et al., 2011; Paetzold, 2009). Sie bestehen aus zwei Elektroden, die in einen Elektrolyten eingelassen sind.

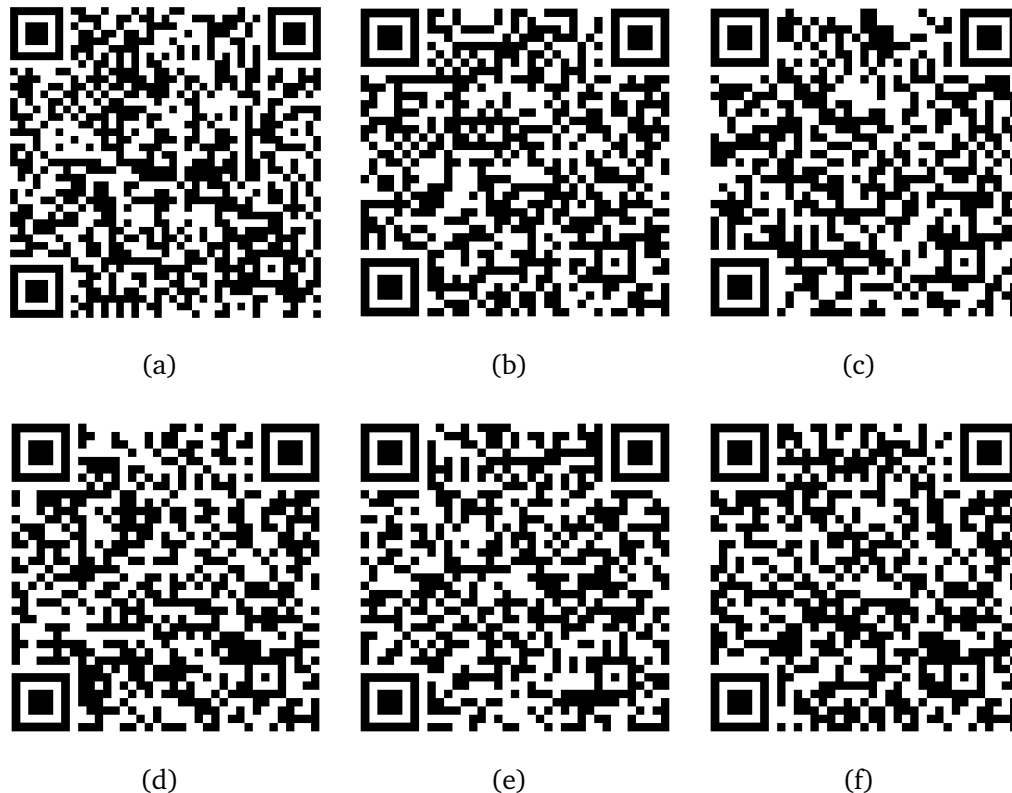


Abbildung 3.4: QR-Codes zum Abrufen der digitalen Lernmedien: (a) Lernvideo über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators, (b) Simulation der Reichweite eines Elektroautos, (c) Erklärtext zu den Auswirkungen der Außentemperatur, (d) Erklärtext zu den Auswirkungen des Fahrstils, (e) Erklärtext zu den Auswirkungen des Lastgewichts, (f) Erklärtext zu den Auswirkungen der Route.

Während des Ladevorgangs entspricht die an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossene Elektrode der Kathode. Es finden also Reduktionsprozesse an ihr statt. Die gegenüberliegende Elektrode entspricht während des Ladevorgangs der Anode. Demgemäß finden Oxidationsprozesse an ihr statt. Beim Entladen erfolgt eine Reversion dieser Prozesse. Die Elektroden entsprechen dann einer gegensätzlichen Kategorisierung (Kurzweil, 2020).

Aufgrund der Prozessreversion sind die Begriffe Anode und Kathode den Elektroden von Akkumulatoren nicht eindeutig zuzuordnen. Um dennoch eine unmissverständliche Kennzeichnung zu gewährleisten, werden die Begriffe üblicherweise entsprechend des Entladevorgangs verwendet (Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V., 2021). In der vorliegenden Arbeit werden alternativ die Begriffe positive und negative Elektrode genutzt. Auf diese Weise soll eine einfache Lesart gewährleistet werden.

Die Typisierung von Akkumulatoren erfolgt auf Basis ihrer Elektroden- und Elektrolytmaterialien. Ein Akkumulatortyp, der mit Hinblick auf die Energiedichte besonders leistungstark ist, ist der Lithium-Ionen-Akkumulator. Er nutzt den Strom von ionischem Lithium als innerzelluläres Pendant zum Elektronenfluss im äußeren Stromkreis (Möller, 2013).

Die Elektroden eines Lithium-Ionen-Akkumulators bestehen aus Materialien, die sich für eine (De-)Interkalation von Lithium-Ionen eignen. Üblicherweise werden ein Mischoxid für die negative Elektrode und Graphit für die positive Elektrode verwendet (Leuthner, 2013). Der Elektrolyt besteht typischerweise aus einem Leitsalz, einem organischen Lösungsmittel und weiteren Zusatzstoffen (Hartnig & Schmidt, 2013). Neben den Elektroden und dem Elektrolyten enthalten handelsübliche Lithium-Ionen-Akkumulatoren eine ionendurchlässige Membran, die als Separator bezeichnet wird. Sie wirkt als elektrischer Isolator zwischen den beiden Elektroden (Weber & Roth, 2013).

Beim Laden eines handelsüblichen Lithium-Ionen-Akkumulators erfolgt eine Deinterkalation von Lithium-Ionen aus der positiven Elektrode und eine anschließende Interkalation in die negative Elektrode. Gleichzeitig werden Elektronen von der positiven Elektrode an den äußeren Stromkreis abgegeben und Elektronen aus dem äußeren Stromkreis von der negativen Elektrode aufgenommen. Während des Entladevorgangs erfolgt eine Reversion dieser Prozesse (Leuthner, 2013).

Aus dem Vergleich von Leuthners (2013) Beschreibung des Wirkungsprinzips handelsüblicher Lithium-Ionen-Akkumulatoren und Klaus und Oetkens (n. d.) Beschreibung des Wirkungsprinzips des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators gehen sowohl Ähnlichkeiten als auch Unterschiede hervor: Die Akkumulatortypen ähneln sich in der Reversibilität der wirkungswesentlichen Teilchenprozesse. Sie unterscheiden sich jedoch mit Hinblick auf die Bewegung der beteiligten Ionen.

Der Lithium-Ionen-Legierungsakkumulator hat eine negative Elektrode aus Zinn und eine positive Elektrode aus Graphit. Sein Elektrolyt besteht aus einem Lösungsmittel aus Propylencarbonat und Dimethylcarbonat und aus dem Leitsalz Lithiumperchlorat. Im entladenen Zustand liegen gelöste Ionen – genauer einfach positive Lithium-Ionen und einfach negative Perchlorat-Ionen – im Elektrolyten vor. Während des Ladevorgangs werden sie in den Elektroden eingelagert. Dabei erfolgt eine Einlegierung von Lithium-Ionen in der negativen Elektrode und eine Interkalation von Perchlorat-Ionen in die positive Elektrode. Gleichzeitig finden Reduktionsprozesse an der negativen Elektrode und Oxidationsprozesse an der positiven Elektrode statt. Dabei werden Elektronen aus dem äußeren Stromkreis aufgenommen bzw. abgegeben. Die elektrische Neutralität der Elektroden bleibt auf diese Weise erhalten. Während des Entladevorgangs wandern die Ionen zurück in den Elektrolyten. Gleichzeitig verlassen Elektronen die negative Elektrode, passieren das angeschlossene elektrische Bauteil und wandern anschließend in die positive Elektrode (Klaus & Oetken, n. d.).

Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung

Das hier präsentierte Lernvideo stellt das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators auf Basis der fachwissenschaftlichen Beschreibung nach Klaus und Oetken (n. d.) dar. Es wurde als sprachlich unterlegte Animation erstellt. Seine Gestaltung basiert auf den Prinzipien multimedialer Darstellungsformen, fachdidaktischen Erwägungen und inhaltspezifischen Entscheidungen. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

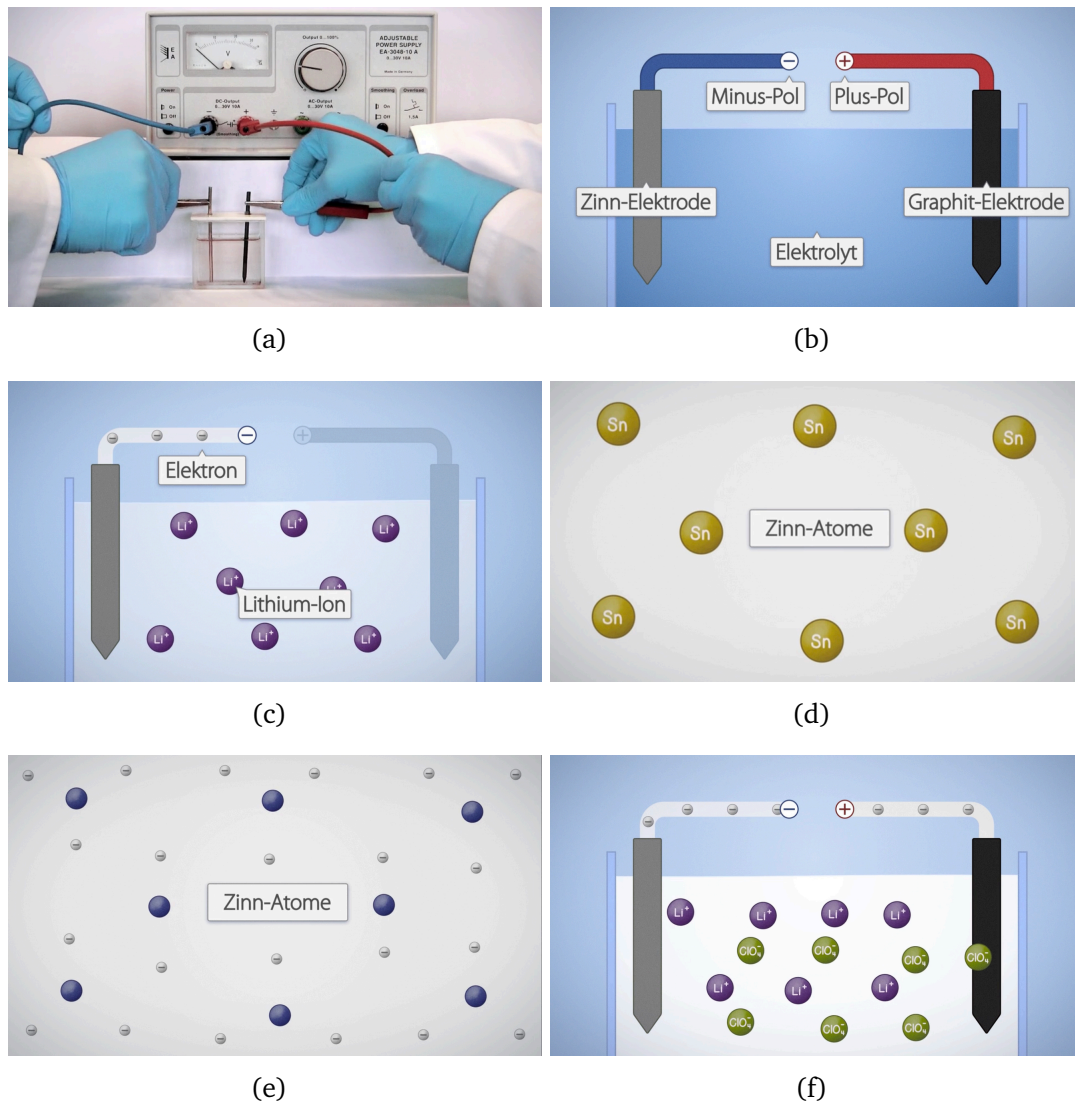


Abbildung 3.5: Momenteaufnahmen des Lernvideos über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators. Die Auswahl der hier dargestellten Momenteaufnahmen ist auf den Ladevorgang und die Vorgänge an der Zinn-Elektrode beschränkt. Sie ist repräsentativ für die übrigen Videoabschnitte. (a) Realvideosequenz des Ladevorgangs. Modelldarstellung (b) der Akkumulatorbauteile, (c) der Vorgänge an der Zinn-Elektrode, (d) des Inneren der Zinn-Elektrode auf atomarer Ebene, (e) des Inneren der Zinn-Elektrode auf subatomarer Ebene und (f) der gleichzeitigen Vorgänge an der Zinn- und Graphit-Elektrode. Mediale Umsetzung durch Stefan Denecke.

Prinzip	Erläuterung	Umsetzung
Kohärenz	Verzicht auf die Darstellung irrelevanter Inhalte (Mayer, 1999)	Ausschließlich Berücksichtigung von Informationen über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators; Verzicht auf Hintergrundmusik und -geräusche
Kontiguität	Gleichzeitige Darstellung von äquivalenten bildlichen und sprachlichen Inhalten (Mayer, 1999)	Gesprochener Text entspricht Beschreibung der Animation
Signalisierung	Einsatz von Gestaltungselementen zum Verdeutlichen relevanter Inhalte (Mayer & Fiorella, 2014)	Erscheinen von Namensschildern bei der Einführung von Bauteilen und Teilchen; Ausblenden von Bauteilen, die nicht an dargestellten Prozessen des Videoabschnitts beteiligt sind (s. Abb. 3.5 b, c, d)
Personalisierung	Gebrauch eines alltäglichen Sprachstils (Mayer, 2014)	Aufnahme der Tonspur durch eine professionelle Sprecherin; Lenkung der Aufmerksamkeit durch Aufforderungen mit Duzen

Tabelle 3.1: *Umsetzung der Prinzipien multimedialer Darstellungen*

Prinzipien multimedialer Darstellungsformen

Die Gestaltung des Lernvideos berücksichtigt verschiedene Prinzipien multimedialer Darstellungsformen. Dabei handelt es sich zum einen um Prinzipien, die der Reduktion der kognitiven Belastung dienen, und zum anderen um Prinzipien, die der Aufrechterhaltung des Interesses dienen. Zu den Prinzipien der ersten Kategorie gehören die Kohärenz und zeitliche Kontiguität (s. Mayer, 1999) sowie die Signalisierung (s. Mayer & Fiorella, 2014). Zu den Prinzipien der zweiten Kategorie gehört die Personalisierung (Mayer, 2014). Nach Mayer et al. (2004) wirken sich die Prinzipien beider Kategorien positiv auf das Lernen aus. Eine Erläuterung der Prinzipien und ihrer Umsetzung findet sich in Tabelle 3.1.

Fachdidaktische Erwägungen

Die Gestaltung des Lernvideos berücksichtigt weiterhin fachdidaktische Erkenntnisse zur Modellierung von Teilchenprozessen. So wird die Empfehlung von Johnstone (1993) umgesetzt, chemische Darstellungen auf einer von drei Ebenen zu verorten. Der Autor unterscheidet und definiert (1) die Ebene der Makrochemie für das sinnlich Wahrnehmbare, (2) die Ebene der Submikrochemie für Modellierungen atomarer Prozesse und (3) die Ebene der Repräsentationschemie für den Einsatz von Symbolen. Die Umsetzung dieser Empfehlung erfolgt durch Formulierungen (z.B. Betrachte ... nun auf Teilchenebene), die den Wechsel zwischen den Ebenen verdeutlichen. Weiterhin werden die Teilchen in der Visualisierung der submikroskopischen Ebene (s. Abb. 3.5 c, d, e, f) vor einem weißen Hintergrund dargestellt, der sich farblich von der vorausgehenden makroskopischen Darstellung unterscheidet.

Ergänzend zu den Empfehlungen von Johnstone (1993) wird der kritische Beitrag von Taber (2013) umgesetzt. Der Autor bemerkt, dass fachwissenschaftliche Symbole keiner getrennten Ebene zuzuordnen sind, sondern kennzeichnend sowohl für makroskopische als auch für submikroskopische Darstellungen genutzt werden können. Das Lernvideo kennzeichnet daher sowohl die makroskopischen (z.B. Minus-Symbol zur Kennzeichnung des negativen Pols des Ladegeräts) als auch die submikroskopischen (z.B. Elementsymbol zur Kennzeichnung der Ionen) Elemente mit Symbolen.

Neben diesen Beiträgen wurden fachdidaktische Traditionen in die Gestaltung des Lernvideos einbezogen. So werden die Teilchen auf der submikroskopischen Ebene entsprechend den üblichen Darstellungsweisen (s. bspw. mustewissen Chemie, 2017, Videolaufzeitpunkt 2 min 19 s; Mortimer und Müller, 2020, S. 34, Abb. 2.3; Asselborn et al., 2010, S. 36) in Form von Kugeln visualisiert. Dies soll die Identifikation der Teilchendarstellung vereinfachen.

Inhaltsspezifische Entscheidungen

Die Gestaltung des Lernvideos beruht letztlich auch auf inhaltsspezifischen Entscheidungen. Dazu zählt die Entscheidung, die Bewegung unterschiedlicher Teilchenarten beim Laden und Entladen zunächst getrennt voneinander darzustellen (s. Abb. 3.5 c). Dies soll zur Übersichtlichkeit beitragen.

Durch einen Blick ins Innere der Elektroden (s. Abb. 3.5 d, e) soll weiterhin der unzutreffenden Vorstellung Einhalt geboten werden, Teilchen würden in ihnen entstehen oder verschwinden. Dabei wird das Innere der Elektroden so

dargestellt, dass keine Ordnungsstruktur erkennbar ist. Zu begründen ist dies mit dem inhaltlichen Fokus des Videoabschnitts. Er dient der Darstellung des Erhalts der elektrischen Neutralität der Elektroden. Zu diesem Zweck ist die Struktur des Teilchenmaterials irrelevant.

Die Elektroden-Teilchen werden zunächst als Atom und anschließend aufgeteilt in Atomkern und Elektronen dargestellt. Dieser Wechsel zur subatomaren Ebene dient der Visualisierung der Ein- und Auslagerung von Elektronen. Die Anzahl der visualisierten Elektronen je Atomkern ist dabei kleiner als die Ordnungszahl der jeweiligen Elemente. Auch diese Maßnahme soll zur besseren Übersichtlichkeit beitragen.

In der Darstellung der Einlagerungsprozesse setzen sich Ionen und Elektronen in freie Räume zwischen den Teilchen. In Verbindung mit dem Verzicht auf eine strukturierte Ordnung der Elektrodenteilchen wird so eine unzutreffende Darstellung von Ladungslokalisation vermieden.

3.4.2 Simulation der Reichweite eines Elektroautos

Die nachhaltige Nutzung von Energie beim Fahren mit einem Elektroauto wird im *smart for science* Workshop im Fach Chemie anhand einer Simulation (abrufbar unter QR-Code in Abb. 3.4) thematisiert. Diese bestimmt die Reichweite eines Elektroautos in Abhängigkeit von der Fahrweise und den Fahrbedingungen. Die Simulation wurde in Zusammenarbeit mit dem Mediendesigner Stefan Denecke entwickelt. Dieser übernahm die mediale Umsetzung der Simulation auf Basis eines inhaltlichen Konzepts, das als Teil der hier präsentierten Promotionsleistung eigenständig ausgearbeitet wurde.

Die Simulation ist auch außerhalb des Workshops nutzbar. Sie ermöglicht es, Kenntnisse über die Auswirkung von Reichweitefaktoren zu sammeln. Diese können nach Günther et al. (2019) dazu beitragen, den Fahrprozess im Sinne einer großen Reichweite zu steuern. Nach Rauh et al. (2020) dienen sie darüber hinaus dazu, das Stressniveau in Fahrsituationen, in denen die verbleibende Reichweite gering erscheint, zu reduzieren.

Fachwissenschaftlicher Hintergrund

Die Reichweite von Elektroautos wird von drei Faktoren bestimmt. Entscheidend sind genauer die Konstruktion, Fahrweise und Fahrbedingungen (Varga

et al., 2019). Dabei ist der Einfluss der beiden letzteren, situativen Faktoren so groß, dass bei nachteiliger Ausprägung lediglich die Hälfte der vom Hersteller angegebenen Reichweite erzielt wird (Evtimov et al., 2017).

Die Auswirkung von situativen Faktoren auf die Reichweite wird anhand von Experimenten (s. American Automobile Association, 2019; Vetter, 2017; Wager et al., 2016), Simulationen (s. Alvarez et al., 2015; Badin et al., 2013; Kucera et al., 2016; Travesset-Baro et al., 2015) und statistischen Modellen (s. De Cauwer et al., 2015; Iora & Tribioli, 2019; Yuksel & Michalek, 2015) wissenschaftlich untersucht. In den Experimentalstudien wird ein gegenständliches Chassis angetrieben. Dies kann in einem Laborexperiment mithilfe eines Fahrgestellprüfstands (s. American Automobile Association, 2019) oder durch Testfahrten im öffentlichen Straßenverkehr (s. Wager et al., 2016) geschehen. Dabei werden Daten der Energienutzung in festgelegter Frequenz von der Batterie abgelesen. Sie werden genutzt, um den Gesamtenergiebedarf zu berechnen.

In den Simulationsstudien (s. Alvarez et al., 2015; Badin et al., 2013; Kucera et al., 2016; Travesset-Baro et al., 2015) wird der Energie In- und Output einzelner Fahrzeugkomponenten bestimmt. Durch das Verknüpfen von Ergebnissen gelingt die Modellierung des Batterie-zu-Räder-Energiefluss und schließlich die Berechnung des Gesamtenergiebedarfs. So berücksichtigen beispielsweise Alvarez et al. (2015) die Fahrzeugdynamik, den Elektromotor und die Batterie und wenden eine rückwärtsgerichtete Vorgehensweise an, indem sie vom Antriebsbedarf auf die notwendige Energiezufuhr am Elektromotor und schließlich auf die Entladung der Batterie schließen.

Die Experimental- und Simulationsstudien ähneln sich in ihrer grundlegenden Methodik. Sie untersuchen den Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf die Reichweite durch die gezielte Änderung entsprechender Parameter. Im Gegensatz dazu bedürfen statistische Modelle gemäß De Cauwer et al. (2015) keiner systematischen Datenerfassung: Sie beruhen auf Datenpunkten, die während der alltäglichen Fahrzeugnutzung oder während Testfahrten erfasst wurden. Von Interesse sind hierbei Daten der Energienutzung in Kombination mit Daten der Fahrweise oder der Fahrbedingungen. Der Einfluss unterschiedlicher Variablen auf die Reichweite wird dann durch die Berechnung von Korrelationen bestimmt (De Cauwer et al., 2015).

Die Untersuchungsmethoden werden sowohl zum Nachweis als auch zur Quantifizierung der Auswirkung von Reichweitefaktoren eingesetzt. Die betref-

fenden Ergebnisse können genutzt werden, um vorteilhafte und nachteilige Ausprägungen der Reichweitefaktoren auszuweisen. In vielen Fällen wird dabei deutlich, dass eine höhere Ausprägung mit einer geringeren Reichweite einhergeht. Dies gilt für den Beschleunigungsstil (s. Alvarez et al., 2015), die Geschwindigkeit (s. Wager et al., 2016), das Steigungsprofil (s. Travesset-Baro et al., 2015), die Masse (s. Kucera et al., 2016; Vetter, 2017) und den Gebrauch einer zusätzlichen elektrischen Leistung (s. Badin et al., 2013), aber nicht für die Außentemperatur. Hinsichtlich dieser wiesen verschiedene Autoren (s. bspw. American Automobile Association, 2019; Iora & Tribioli, 2019; Yuksel & Michalek, 2015) nach, dass eine mittlere Ausprägung vorteilhaft wirkt. In der Studie der American Automobile Association (2019) wurde die größte Reichweite genauer bei einer Temperatur von 24°C, die geringste bei einer Temperatur von -7°C und die mittlere bei einer Temperatur von 32°C erzielt.

Neben den numerischen Reichweitefaktoren werden auch kategoriale betrachtet. Ein solcher Reichweitefaktor ist das Verkehrsprofil, dessen Auswirkung von Badin et al. (2013) untersucht wurde. Die Autoren konnten zeigen, dass der Energiebedarf für das Fahren auf der Autobahn höher ist als für das Fahren im ländlichen Raum. Das Fahren in der Stadt erwies sich als am energiesparsamsten.

Trotz der Quantifizierung der Auswirkung von Reichweitefaktoren ist die Aufstellung einer Rangliste im Sinne eines Vergleichs ihrer Effektstärken schwierig (Porsche AG, persönliche Kommunikation, 06.11.2019). Eine Hürde für das Aufstellen einer solchen Rangliste stellen die Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren dar. So zeigte beispielsweise die Studie der American Automobile Association (2019), dass das Ausmaß der Auswirkung der Außentemperatur von dem betrachteten Fahrzyklus abhängt. Ein ähnliches Beispiel findet sich in der Studie von Badin et al. (2013), die belegt, dass der negative Einfluss von aggressivem Fahren von der durchschnittlichen Geschwindigkeit abhängt.

Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung

Die Gestaltung von Simulationen betrifft nach Reigeluth und Schwartz (1989) das abgebildete Szenario, das Berechnungsmodell und den Aufgabenkontext. Das Szenario, das durch die hier präsentierte Reichweitesimulation abgebildet wird, ist das wiederholte Fahren eines Elektroautos in verschiedener Weise und unter verschiedenen Bedingungen. Es entspricht einem Experiment, in dem die

besten und schlechtesten Fahrbedingungen und Fahrweisen für Elektroautos identifiziert werden. Im Umgang mit der Simulation sind die Lernenden die Experimentatoren. Sie können die in Kapitel 3.4.2 dargestellten Reichweitefaktoren manipulieren, um die Zielsetzung des Experiments zu erreichen.

In einem Experiment der hier skizzierten Form würde die Fahrt mit voller Akkuladung beginnen. Im Vorhinein wäre nicht abzusehen, wie weit das Elektroauto fahren würde. Im Verlauf der Fahrt würde die Akkuladung sichtbar abnehmen. Gleichzeitig würde die Anzahl bereits gefahrener Kilometer sichtbar steigen. Das Auto würde dann nach einer bestimmten Strecke zum Stehen kommen. Dieser Informationstransfer geht auch von der Simulation aus, die ein Auto vor einem bewegten Hintergrund und einen sich entladenden Akkumulator zeigt, um schließlich den Wert der maximalen Reichweite anzugeben (s. Abb. 3.6 b, c, d).

Die Bedienung der Simulation erfolgt durch das Setzen von Optionen im Einstellungsfenster (s. Abb. 3.6 c) und das Starten des Elektroautos im Startbild (s. Abb. 3.6 b). Die Reichweite wird dann entsprechend dem zugrunde liegenden Berechnungsmodell angezeigt. Dieses basiert auf den in Kapitel 3.4.2 dargestellten Erkenntnissen und Wissenslücken. Die Erkenntnisse beinhalten die Studienergebnisse über die Entwicklung der Reichweite aufgrund der Veränderung eines einzelnen Faktors. Die Wissenslücken beziehen sich auf die Wechselwirkungen und Effektstärken der Reichweitefaktoren. Sie bilden den Ausgangspunkt für Vereinfachungen im Berechnungsmodell. Dieses nimmt an, dass die Reichweitefaktoren voneinander unabhängig und ihre Effektstärken gleich sind. Mathematisch gelingt dies durch einen additiven Vorgang. Dabei wird jeder Einstellungsmöglichkeit ein konstanter Beitrag zur Reichweite zugewiesen. Die jeweilige nachteilige Einstellung trägt mit 15 km zur Reichweite bei, die mittlere mit 30km und die vorteilhafte mit 45km. Auf diese Weise wird ein Reichweiteunterschied von 30km zwischen der nachteiligen und der vorteilhaften Einstellung eines Reichweitefaktors ausgewiesen. Dieser Wert entspricht ungefähr dem Reichweiteunterschied zwischen der nachteiligen und der vorteilhaften Ausprägung des Fahrstils in der Studie von Alvarez et al. (2015) und basiert folglich auf reellen Werten. Darüber hinaus wird anhand der Rechenvorschrift eine maximale Reichweite von 315km erzielt. Dies entspricht ungefähr der beworbenen Reichweite eines Elektro-Kleinwagens wie dem *Fiat 500 Elektro* mit 320km (Fiat, 2021) oder dem *Opel Corsa-e* mit 337km (Opel, 2021).

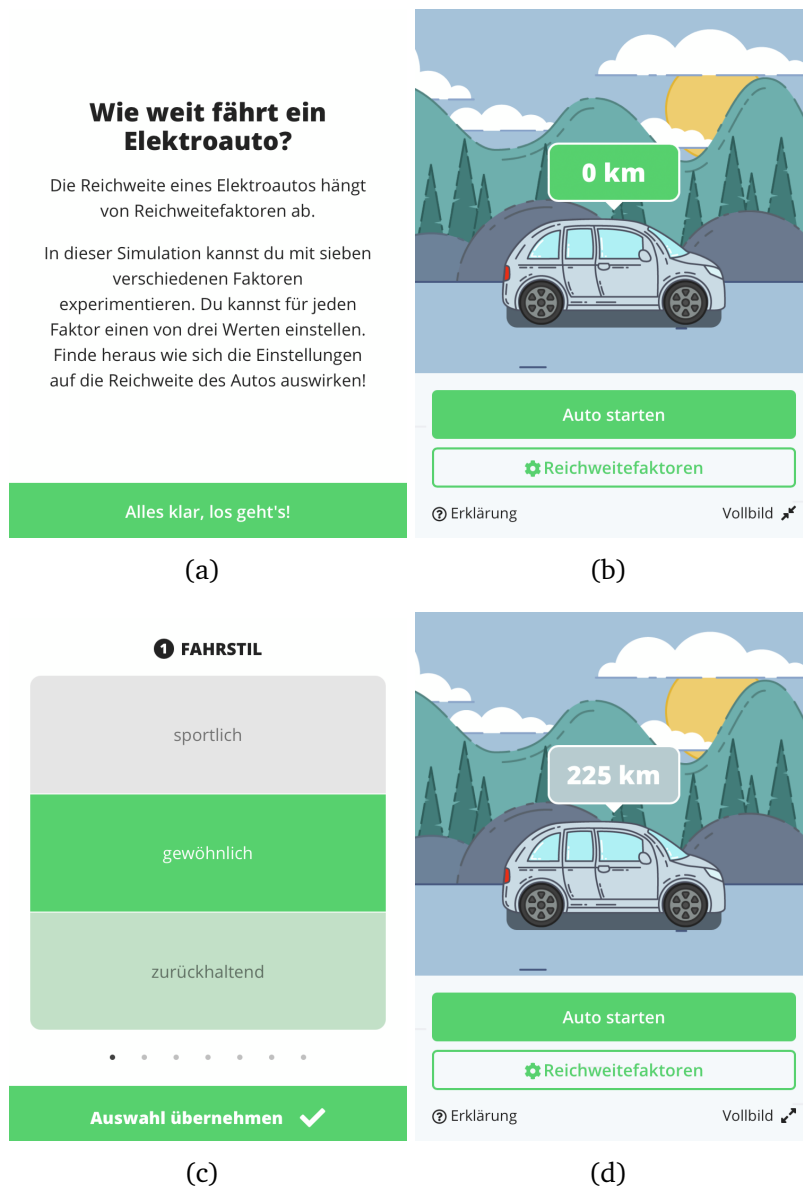


Abbildung 3.6: Momentaufnahmen der Reichweitesimulation. (a) Erläuterungstext: Durch „Alles klar, los gehts!“ erfolgt ein Wechsel zum Startbild. (b) Startbild: Durch „Auto starten“ beginnt das Auto zu fahren. Durch „Reichweitefaktoren“ erfolgt ein Wechsel zum Einstellungsfenster. Durch „Erklärung“ erfolgt ein Wechsel zurück zum Erläuterungstext. (c) Einstellungsfenster: Durch Wählen der Einstellungsoptionen werden diese gespeichert. Durch Swipen nach rechts erfolgt der Aufruf weiterer Reichweitefaktoren. Durch „Auswahl übernehmen“ erfolgt ein Wechsel zum Startbild. (d) Stoppbild: Ein erneutes Wählen von „Auto starten“ bedingt eine erneute Fahrt des Elektroautos mit demselben Ergebnis. Mediale Umsetzung durch Stefan Denecke.

Die hier skizzierten Vereinfachungen sind mit der Natur von Simulationen zu legitimieren. Diese basieren nach Kirstein und Nordmeier (2007) auf Modellen, die gemäß verschiedenen Autoren (s. bspw. Heitzmann, 2019; Kircher, 2015; Mikelskis-Seifert et al., 2011) zwangsläufig Vereinfachungen enthalten. Die ungenauen Ergebnisse machen es im Fall der Reichweitesimulation allerdings erforderlich, die Einstellungsoptionen möglichst allgemein zu formulieren. Anstelle einer Auswahl an Zahlenwerten wird deshalb eine Auswahl an kategorischen Titeln – z.B. kalt, warm und heiß – präsentiert.

Aufgrund der Vereinfachungen kann die Reichweitesimulation nicht allzweckmäßig eingesetzt werden. Sie eignet sich lediglich zur Vermittlung der Situationsabhängigkeit der Reichweite von Elektrofahrzeugen sowie der Reichweitenfaktoren und ihrer vorteilhaftesten und nachteiligsten Ausprägungen. Diese Lernziele sind Teil des Aufgabenkontextes und werden beim Aufruf der Simulation in einem Erläuterungstext dargestellt (siehe Abb. 3.6 a).

Ausgehend von den Lernzielen kann die Reichweitesimulation gemäß Wirth und Leutner (2006) als „[r]ealitätsnahe Simulation[] moderat komplexer Experimentierumgebungen“ (S. 172) eingeordnet werden. Den Autoren zufolge können Lernende an Simulationen dieser Form nicht nur Kenntnisse über den Zusammenhang der abgebildeten Größen erarbeiten, sondern auch fachwissenschaftliche Arbeitsweisen. In diesem Zusammenhang eignet sich die Reichweitesimulation besonders zum Üben der Variablenkontrollstrategie, die nach Schwichow et al. (2015) „[e]ine grundlegende Strategie der experimentellen Erkenntnisgewinnung“ (S. 346) darstellt.

3.4.3 Erklärtexte über den Einfluss ausgewählter Reichweitefaktoren

Als Ergänzung zur Reichweitesimulation wurden vier Erklärtexte (abrufbar unter QR-Codes in Abb. 3.4) entwickelt. Sie begründen die Auswirkung der Außentemperatur, des Fahrstils, des Lastgewichts und der Route auf die Reichweite und thematisieren zu diesem Zweck die Funktionsweise des Antriebstrangs von Elektroautos und die Wirkung ausgewählter Aspekte der Fahrdynamik.

Fachwissenschaftlicher Hintergrund

Der Antriebstrang eines Elektroautos umfasst einen Elektromotor und ein Energiespeichersystem. Der Elektromotor besteht aus zwei Magneten, von denen mindestens einer ein Elektromagnet mit manipulierbarem Magnetfeld ist. Einer der beiden Magneten ist unbeweglich. Der andere ist auf einer drehbaren Achse montiert. Seine Bewegung resultiert aus der Anziehung mit dem unbeweglichen Magneten. Zu diesem Zweck wird das Magnetfeld des Elektromagneten durch Veränderung der anliegenden Spannung gezielt manipuliert (Karle, 2018).

Die Energie zur Erzeugung der am Elektromotor anliegenden Spannung stammt aus einem Speicher, der aus zahlreichen Akkumulatoren, den so genannten Basiszellen, zusammengesetzt ist. Als Basiszellen werden in der Regel Lithium-Ionen-Akkumulatoren genutzt. Sie sind in mehreren Modulen zusammengeschaltet und von einer robusten Hülle umgeben (Karle, 2018).

Neben den Akkumulatoren enthält der Energiespeicher ein Batteriemanagementsystem. Dieses misst und reguliert verschiedene Parameter, die für den Betrieb der Akkumulatoren relevant sind. Einer dieser Parameter ist die Temperatur. Ihr Idealbereich liegt zwischen 18°C und 25°C (Karle, 2018). Abweichungen davon führen zu Veränderungen, die wiederum zur Beeinträchtigung der Lade- und Entladevorgänge und sogar zur Explosion führen können (Zhang et al., 2022). Beispiele für derartige Veränderungen sind die Bildung von Dendriten (H. Liu et al., 2022) und der Ablauf chemischer Reaktionen (Waldmann et al., 2014). Die Temperaturregulierung ist also entscheidend, um einer Minderung der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Energiespeichers entgegenzuwirken. Sie ist jedoch mit einem erhöhten Energieaufwand verbunden (Karle, 2018).

Der Energiespeicher kann beim Bremsen wieder aufgeladen werden. Bei diesem Vorgang, der so genannten Rekuperation, wird die Bremswirkung vom Elektromotor erzeugt, der dabei die Funktion eines Generators übernimmt (Karle, 2018). Das Potential zur Energierückgewinnung durch Rekuperation kann nur durch saches Bremsen voll ausgeschöpft werden, da bei abruptem Bremsen zusätzlich eine herkömmliche Bremse genutzt wird (Ewerhart, 2014).

Trotz der Rekuperation geht beim Fahren mit einem Elektroauto Energie verloren. Dieser Verlust ist unter anderem auf Fahrwiderstände zurückzuführen. Ein Beispiel hierfür ist der Luftwiderstand, der proportional zum Quadrat der Fahrzeuggeschwindigkeit ist. Ein weiteres Beispiel ist der Rollwiderstand, der proportional zur Masse des Fahrzeugs ist (Karle, 2018).

Die Informationen über die Fahrwiderstände und den Antriebstrang können zur Erklärung der Auswirkung der Außentemperatur, des Fahrstils, des Lastgewichts und der Route auf die Reichweite herangezogen werden. So lässt sich ableiten, dass von hohen oder niedrigen Außentemperaturen ein erhöhter Bedarf an Temperaturregelung ausgeht, dass von einem aggressiven Fahrstil mit hohen Geschwindigkeiten und abrupten Bremsmanövern ein erhöhter Luftwiderstand und eine geringe Rekuperationsleistung ausgeht, dass auch von einer Fahrt mit hohen Geschwindigkeiten auf der Autobahn ein erhöhter Luftwiderstand ausgeht und dass von einer hohen Zuladung ein erhöhter Rollwiderstand ausgeht.

Beschreibung und Begründung der medialen Gestaltung

Die Erklärtexpte präsentieren die in Kapitel 3.4.3 dargelegten Informationen spezifisch für jeden Reichweitefaktor. Um eine große Bandbreite der Lernmedien im *smart for science* Workshop zu gewährleisten, wurde auf die Unterstützung der Erklärtexpte durch Bildmaterial verzichtet. Auf diese Weise sollen konzeptionelle Überschneidungen insbesondere mit dem Lernvideo verhindert werden.

Um die Erklärtexpte für möglichst viele Lernende verständlich zu gestalten, wurden sie sprachlich vereinfacht. Dabei wurden die Regeln für leichte Sprache gemäß dem Netzwerk Leichte Sprache (n. d.) angewendet. Diese beziehen sich auf die optische, inhaltliche und sprachliche Gestaltung von Texten. Den Regeln entsprechend wurde eine dunkle, serifenlose Schrift auf hellem Hintergrund und ein linksbündiger Schriftsatz verwendet. Darüber hinaus wurden ausschließlich relevante Informationen in den jeweiligen Texten platziert. Bei deren Formulierung wurden lange Sätze mit multiplen Aussagen sowie Passiv- und Genitivkonstruktionen vermieden. Außerdem wurden Nominalisierungen, Konjunktive und Abkürzungen vermieden und zusammengesetzte Wörter durch Bindestriche getrennt.

3.5 Digital gestützter Workshop

Die Datenerhebung wurde im Kontext eines digital gestützten Workshops durchgeführt. Dieser wurde – ebenso wie alle darin eingesetzten Medien und Materialien – als Teil der hier präsentierten Promotionsleistung eigenständig ent-



Abbildung 3.7: QR-Code zum Abrufen analoger Arbeitsmaterialien

wickelt und bereits in verschiedenen Artikeln (s. bspw. F. Kremer & Marohn, 2022a, 2022b) beschrieben. Im Sinne der Forschungsinteressen von *smart for science* und der vorliegenden Arbeit, bedingt er die Verwendung von digitalen Endgeräten.

Inhaltlich beschäftigt sich der Workshop mit dem Thema Elektromobilität. Dieses wurde aufgrund seiner Lebensnähe und Zukunftsorientierung als übergeordnetes Thema der *smart for science* Workshops ausgewählt. Der Workshop der Chemie befasst sich im Detail mit der Speicherung und der nachhaltigen Nutzung von elektrischer Energie. Damit ergänzt er die Themen der Workshops der anderen Fächer des Verbundprojekts, die sich genauer mit der Erzeugung elektrischer Energie (s. bspw. Heusler et al., 2020; Pusch et al., 2021) und dem CO₂-Ausstoß verschiedener Fahrzeugtypen (s. Krause & Greefrath, 2023) beschäftigen.

Methodisch setzt der Chemie-Workshop den Schwerpunkt beim Einsatz von Simulationen und Lernvideos. Auch in dieser Hinsicht ergänzt er die Workshops der anderen Fächer des Verbundprojekts, die den Einsatz von digitalen Tools zur Messwerterfassung (s. Kramp et al., 2020; Laumann et al., 2024) und zur Modellierung (s. Krause, 2022; Krause et al., 2024) vorsehen. Ähnlich diesen Workshops beschränkt sich der Chemie-Workshop allerdings nicht auf seine Schwerpunktmedien. So kommen zur Erweiterung der Bandbreite digitaler Anwendungen auch Erklärtexpte und eine interaktive Präsentation zum Einsatz.

Die digitalen Lernmedien werden über QR-Codes in einem analogen Workbook (einsehbar in Anhang 8.2) zugänglich gemacht. Dessen Layout basiert auf einer Vorlage des *Instituts für Didaktik der Physik der Universität Münster*. Diese Vorlage wurde zur projektübergreifenden Vereinheitlichung für die Workshops aller Fächer genutzt. Sie beinhaltet den Einsatz von Piktogrammen zur Kenn-

zeichnung von Medien, Sozialformen und Aufgabenformaten, die nach Heinicke und Westhoff (2022) dazu beitragen, Arbeitsaufträge nachhaltig zu vermitteln.

Die analogen Arbeitsmaterialien, die neben dem Workbook auch eine Anleitung zum Bau eines Modell-Elektroautos umfassen, wurden im Sinne des Abbaus sprachlicher Barrieren nach den Regeln für leichte Sprache (s. Netzwerk Leichte Sprache, n.d.) gestaltet. Sie können im Anhang unter den Abschnitten 8.2 und 8.3 eingesehen werden. Für die zukünftige Nutzung in Lehr-Lern-Kontexten wurden sie überdies in angepasster Form online zur Verfügung gestellt (Downloadbereich abrufbar unter QR-Code in Abb. 3.7).

Der Verlauf der Workshopdurchführung wurde in einem Plan festgehalten. Dieser sieht neben dem Einsatz vielfältiger Medien auch den Einsatz vielfältiger Unterrichtsmethoden vor (s. Abb. 3.8). Die abwechslungsreiche Gestaltung trägt Granbom und Granbom (2019) zufolge zur Motivation der Lernenden bei. Darüber hinaus ermöglicht sie die Erforschung verschiedener Unterrichtsformate. Im Folgenden werden die jeweiligen Workshopphasen genauer beschrieben.

Phase 1: Einstieg in das übergeordnete Thema Elektromobilität mit einer interaktiven Präsentation

Zu Beginn des Workshops berichten die Lernenden von ihren Erfahrungen mit Elektroautos und messen sich in ihrem Wissen über gesellschaftspolitische und technische Aspekte der Elektromobilität. Beide Aktivitäten – die Erfahrungsberichte und der Wissenswettbewerb – werden durch eine interaktive Präsentation der Software *Mentimeter* unterstützt, die das mediale Spektrum des Workshops erweitert. Die zugrunde liegenden Fragen sind in Tabelle 3.2 aufgeführt.

Die Erfahrungsberichte werden anhand einer Umfrage eingeleitet, deren Ergebnisse automatisch in der Präsentation visualisiert werden. In dieser Umfrage geben die Lernenden zu erkennen, ob sie bereits mit einem Elektroauto gefahren sind und ob sie in Zukunft mit Elektroautos fahren möchten. Auf diese Weise soll der Lebensweltbezug des übergeordneten Themas verdeutlicht und darüber hinaus ein Anlass dazu geschaffen werden, über die persönliche Wahrnehmung von Elektromobilität zu sprechen.

Der Wissenswettbewerb erfolgt daraufhin in Form eines blinden Quiz, das Blank und Ammenwerth (2017) am Beispiel der Software *Kahoot* beschreiben: Hierbei werden Fragen und Antwortoptionen zu einem neuen Thema im Multiple-Choice-Format präsentiert. Die Lernenden, denen das Thema noch unbekannt

Phase	Intention	Medien	Sozialform
1	Einstieg in das Themenfeld Elektromobilität	Interaktive Präsentation <i>Smartphone</i>	Plenum
2	Einstieg in das Schwerpunktthema Reichweite	Experimentiermaterial	Partnerarbeit
3	Erarbeitung des Funktionsprinzips des Lithium-Ionen-Akkumulators	Lernvideo <i>Smartphone</i>	Einzelarbeit
4	Erarbeitung der Auswirkungen und Bestwerte von Reichweifaktoren	Simulation <i>Smartphone</i>	Partnerarbeit
5	Erarbeitung der Ursachen von Reichweifaktoren	Online-gestellte Erklärtex-te <i>Smartphone</i>	Einzel- und Gruppenarbeit
6	Anwendung des erarbeiteten Fachwissens		Einzelarbeit und Plenum

Abbildung 3.8: Workshopverlauf. Die hier aufgeführten Lernmedien werden ergänzend zu den analogen Arbeitsmaterialien eingesetzt.

Folie	Impuls- oder Quizfrage
1	Bist du schon mal mit einem Elektro-Auto gefahren?
2	Würdest du gerne (noch) mal mit einem Elektroauto fahren?
3	Welcher Auto-Hersteller produziert die grösste Anzahl an Elektro-Autos?
4	Wie viele Elektro-Autos gibt es in Deutschland ungefähr?
5	Wie viel Geld gibt der Staat für den Kauf von einem Elektro-Auto dazu?
6	Wie weit kann der Cyber-Truck von Tesla fahren?
7	Wie nennt sich der Akkumulator-Typ, der in Elektro-Autos eingebaut ist?

Tabelle 3.2: *Impuls- und Quizfragen der interaktiven Präsentation*

ist, entscheiden sich häufig für die falschen Antwortoptionen. Dies wird in der Auflösung deutlich und ist im Sinne des thematischen Einstiegs ausdrücklich erwünscht. Dabei wird stets darauf geachtet, dass die Ergebnisse anonymisiert präsentiert werden (Blank & Ammenwerth, 2017).

Ein blindes Quiz gibt laut Blank und Ammenwerth (2017) einen Anlass dazu, sich weiterführend mit einem neuen Thema auseinanderzusetzen. Das spielerische Format hat gemäß verschiedenen Studien (s. bspw. Licorish et al., 2018; Wang et al., 2016; Wichadee & Pattanapichet, 2018) darüber hinaus einen motivierenden Charakter. Der Workshop-Einstieg in der hier beschriebenen Form erfüllt somit essentielle Kriterien des Unterrichtseinstiegs. Diese bestehen laut Riedl und Schelten (2013) darin, das Unterrichtsthema in den Fokus zu rücken, Neugierde zu wecken und das themenbezogene Vorwissen zu aktivieren. Im Sinne der Datenerhebung soll der digitale Einstieg überdies zu einer zügigen Gewöhnung an die Verwendung von Smartphones im Unterricht beitragen.

Phase 2: Experimenteller Einstieg in das Schwerpunktthema Reichweite

In der zweiten Workshop-Phase stellen die Lernenden einen Lithium-Ionen-Legierungsakkumulator her und nutzen diesen zum Bau eines Modell-Elektro-Autos. Dabei üben sie sich in der Durchführung verschiedener Labortätigkeiten wie dem Wiegen von Pulvermaterial und dem Umfüllen von Flüssigkeiten. Die fertigen Modelle lassen sie am Ende dieser Phase fahren, um daraufhin

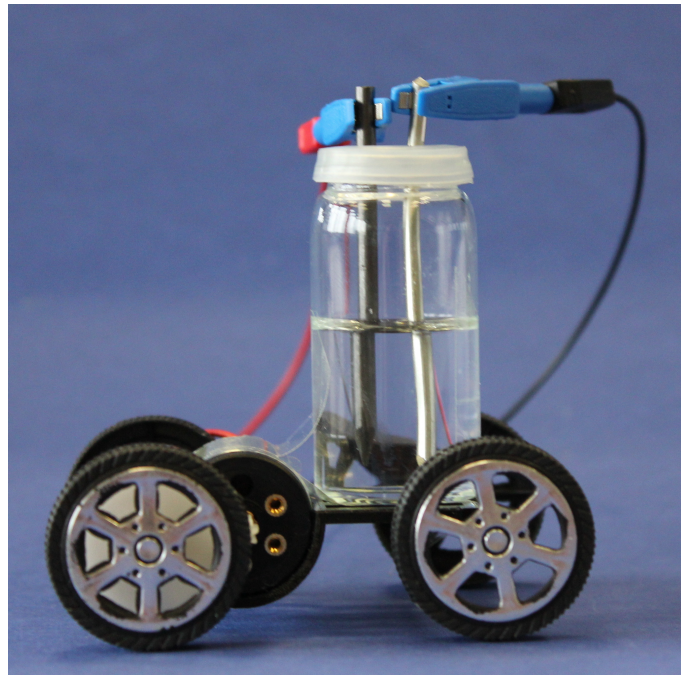


Abbildung 3.9: *Elektro-Modellauto*

die konstruktionsbezogenen Ursachen der Reichweiteunterschiede zu diskutieren.

Die Herstellung des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators erfolgt entsprechend den Vorgaben von Klaus und Oetken (n. d.). Diese wurden mit weiteren Anweisungen zum Bau des Modellautos in einer sprachlich vereinfachten Anleitung (einsehbar in Anhang 8.3) dargestellt. Das Modellauto basiert auf einem Chassis, das von der damaligen studentischen Hilfskraft Steffen Rówekamp designt wurde. Es wird den Lernenden in vollständiger Ausführung zur Verfügung gestellt. Dafür wird es im Vorhinein im 3D-Drucker gefertigt und mit einem Elektromotor des Modells 2230T015S der Marke *Faulhaber* und Achsen, Rädern, Kabeln und Krokodilklemmen aus dem Modell-Fachhandel versehen.

Die fertigen Modellautos (s. Abb. 3.9) werden über einen festgelegten Zeitraum an einer Batterie als Modell-Steckdose geladen, an einer Startlinie platziert und durch Verbinden von Motor und Akkumulator gestartet. Die erzielten Reichweiten werden anschließend auf dem Boden markiert. Die Markierungen ermöglichen es, die Ergebnisse der Testfahrten zu vergleichen. Auf diese Weise wird der Wettbewerbscharakter dieser Workshopphase erhöht. Dies kann laut verschiedenen Autoren (s. bspw. Cagiltay et al., 2015; C.-H. Chen et al., 2019; Muñoz-Merino et al., 2014) zur Motivation der Lernenden beitragen.

Die Markierungen dienen weiterhin als Anlass, um die konstruktionsbedingten Reichweitenunterschiede der Modellautos zu thematisieren. Neben Unterschieden in der Herstellung der Akkumulatoren sind hierbei auch Unterschiede in der Chassis-Konstruktion relevant. Diese entstehen beispielsweise durch Ungenauigkeiten beim 3D-Druck.

Phase 3: Erarbeitung von Fachwissen über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators mit einem Lernvideo

In der dritten Workshop-Phase erarbeiten die Lernenden Fachwissen über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators. Dazu entnehmen und restrukturieren sie Informationen aus einem Lernvideo (Konzeption dargestellt in Kapitel 3.4.1).

Die Erarbeitung des Fachwissens folgt einem engen Rezeptionsauftrag. Dieser sieht vor, dass die Lernenden Bewegungspfeile an den Teilchen in einem Video-Standbild einzeichnen und die fehlenden Begriffe in einem Lückentext ergänzen. So soll die Aufmerksamkeit der Lernenden gezielt auf die relevanten Inhalte gelenkt werden. Die Vorstrukturierung der Informationssicherung soll darüber hinaus zu einer besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit beitragen.

Das Abspielen der Videos erfolgt individuell. Dabei manipulieren die Lernenden die Wiedergabe durch Pausieren, Zurückspulen oder Vorspulen. Auf diese Weise können sie den Rezeptionsprozess nach ihren Bedürfnissen gestalten.

Phase 4: Erarbeitung von Fachwissen über die Auswirkung von Reichweitefaktoren mit einer Simulation

In der vierten Workshop-Phase erarbeiten sich die Lernenden Fachwissen über die Auswirkung von unterschiedlichen Ausprägungen der Reichweitefaktoren. Dabei verfolgen sie das Ziel, die Bestwerte von Reichweitefaktoren zu bestimmen. Dazu manipulieren sie die Einstellungen einer Simulation (Konzeption dargestellt in Kapitel 3.4.2) und üben sich dabei in der Anwendung der Variablenkontrollstrategie.

Die Variablenkontrollstrategie wird beim Einsatz der Simulation bewusst fokussiert. Dieser methodische Fokus wird dadurch ermöglicht, dass der enorme Zeit- und Konzentrationsaufwand, der laut Wörner et al. (2021) mit den händischen Tätigkeiten bei der Durchführung von Realexperimenten einhergeht, bei der Verwendung von Simulationen ausbleibt. So identifizieren die Lernenden

die Variablenkontrollstrategie als geeignete Analysemethode, bevor sie die Simulation nutzen. Dies soll der von Urhahne und Harms (2006) formulierten Zielsetzung dienen, Simulationen nicht nur zum Erwerb von Fachwissen, sondern auch zum Erwerb von methodischen Fertigkeiten einzusetzen.

Zu Beginn der Workshopphase werden die Lernenden außerdem dazu aufgefordert, Hypothesen über die Bestwerte der Reichweitefaktoren aufzustellen. Dazu werden sie anhand einer Erzählung mit einer Problemstellung konfrontiert. Diese handelt von der Urlaubsplanung einer hypothetischen Familie, die möglichst weit mit ihrem Elektroauto fahren will, ohne Pausen zum Laden des Akkumulators zu machen. Die Lernenden werden darin aufgefordert, der Familie bei ihrer Planung zu helfen.

Die Erzählung schafft einen spielerischen Einstieg in die Workshopphase, die entsprechend dem Experimentierzyklus nach White und Frederiksen (1998) strukturiert ist. Dieser beginnt mit der Formulierung einer Frage. Darauf folgt die Formulierung von Hypothesen, die dem Design und der Durchführung einer Untersuchung vorangestellt ist. Entsprechend ihrer Klassifizierung als digitales Experiment, wird die Simulation somit ähnlich einem Realexperiment genutzt.

Phase 5: Erarbeitung von Fachwissen über die Ursachen der Auswirkungen von Reichweitefaktoren mit online-gestellten Erklärtexten

In der vierten Workshop-Phase erarbeiten sich die Lernenden Fachwissen über die Ursachen der Auswirkungen von Reichweitefaktoren. Dazu lesen sie online-gestellte Erklärtexte (Konzeption dargestellt in Kapitel 3.4.3). Die dabei entnommenen Informationen präsentieren sie anschließend in Kleingruppen. Somit üben sie sich sowohl im sinnentnehmenden Lesen als auch im Präsentieren.

Der Einsatz der Erklärtexte erfolgt genauer in einem Gruppenpuzzle. Darin wird allen Lernenden die Verantwortung zur Präsentation der Informationen aus einem Erklärtext übertragen. Aus dieser Verantwortung resultiert gemäß verschiedenen Autoren (s. bspw. Betzold Verlag, 2020; Ministerium für Kultur Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2011; Pohl & Faas, 2013) eine höhere Leistungsbereitschaft. In diesem Sinne soll die methodische Festlegung dazu beitragen, dass sich die Lernenden tiefgreifend mit den Inhalten der Texte beschäftigen.

Bei dieser Aufgabe wurde auf eine Vorstrukturierung der Informationssicherung verzichtet. Auf diese Weise erhalten die Lernenden einen größeren kreativen Spielraum zur Gestaltung ihrer Präsentation. Zu deren Unterstützung wer-

den zu Beginn der Workshopphase Qualitätskriterien und Hinweise zum effizienten Anfertigen von Notizen formuliert.

Phase 6: Anwendung des Fachwissens über die Reichweitefaktoren in einer analogen Bewertungsaufgabe

Zum Abschluss des Workshops bewerten die Lernenden die Ausprägung von Reichweitefaktoren für ihren Traumurlaub. Dabei wenden sie das erlernte Fachwissen über die Auswirkung von Reichweitefaktoren an. Die Übung dient somit der Wiederholung und Festigung ihres Wissens.

Diese Abschlussphase des Workshops wird nicht durch digitale Medien unterstützt. Ihre Relevanz für die Analyse der Lernwirksamkeit verschiedener Gestaltungsvarianten des digital gestützten Unterrichts ist daher gering. Die Notwendigkeit dieser Festlegung ergibt sich aus dem engen Zeitraster der Datenerhebung. So wurde die Abschlussphase als optionale Phase kategorisiert, die nur dann durchgeführt wurde, wenn dafür ausreichend Zeit zur Verfügung stand.

3.6 Datenaufbereitung

Zur Aufbereitung der Rohdaten wurde eine projektübergreifende Datentabelle angelegt. Die Übertragung von Daten in diese Tabelle wurde von Projektbeteiligten aus den Fächern Chemie, Mathematik und Physik übernommen. Dabei waren die Beteiligten jeweils verantwortlich für die Übertragung von Daten aus Erhebungen, die sie selbst durchgeführt hatten.

Die Datenübertragung erfolgte entsprechend der Manuale der jeweiligen Erhebungsinstrumente. Zusätzlich wurde dabei die Manualkonformität der Haupterhebungen und der Durchführung der psychodiagnostischen Tests CFT 20-R und d2-R in der Tabelle notiert.

Nach dem Abschluss der Übertragung von Daten zum chemiebezogenen Projektanteil erfolgte eine fachinterne Bereinigung der Datentabelle unabhängig von den anderen Projektbeteiligten. Zu diesem Zweck wurde die projektübergreifende Datentabelle lokal gespeichert und eigenständig bereinigt. Diese Maßnahme erwies sich als erforderlich, weil die Bearbeitung der gemeinsamen Datentabelle und die darauf folgenden Datenanalysen unterschiedlichen Zeitplänen unterlagen.

Im Rahmen der fachinternen Datenbereinigung wurde die projektübergreifende Datentabelle zunächst auf die Daten reduziert, die in Verbindung mit der chemiebezogenen Datenerhebung stehen. Zu diesem Zweck wurden die Daten von Klassen, die den Chemie-Workshop nicht belegt hatten, gelöscht. Weiterhin wurden die Daten von Erhebungsinstrumenten, die ausschließlich im Kontext anderer Workshops eingesetzt worden waren, gelöscht.

Im zweiten Schritt erfolgte ein Abgleich der Haupt-Personen-IDs mit den testheftspezifischen Personen-IDs. Bei vorliegenden Abweichungen wurden fallspezifische Maßnahmen ergriffen. So war in manchen Fällen erkennbar, dass die zur Haupt-ID gehörenden Daten eines Testheftes in einer darüber- oder darunterliegenden Zeile lagen. In diesen Fällen wurden die Daten in die Zeile der Haupt-Personen-ID verrückt. In anderen Fällen wurden geringfügige Abweichungen in den IDs identifiziert. In diesen Fällen wurden die entsprechenden Testhefte erneut begutachtet. Auf Basis dieser Begutachtung wurde entschieden, ob die Abweichungen in den eingetragenen IDs auf die Teilnahme unterschiedlicher Personen oder auf Mängel in der Lesbarkeit der handschriftlich notierten IDs oder Tippfehler zurückzuführen sind. Im ersten Fall wurden die Daten in unterschiedliche Zeilen verrückt. Im zweiten Fall wurden sie unverändert gelassen. Die Entscheidungen darüber wurden tabellarisch festgehalten.

Im dritten Schritt wurden Lücken im Datenmaterial einiger Haupt-Personen-IDs identifiziert. Dabei wurde geprüft, ob ergänzende Lücken auf die Zugehörigkeit zu einer Person zurückzuführen sind. In diesen Fällen wurden die Daten einer der beiden IDs zugeordnet.

Zuletzt wurde die Konsistenz der Zugehörigkeit zu den experimentellen Bedingungen geprüft und im Fall von Abweichungen im weiteren Abgleich mit den Angaben auf den Testheften korrigiert. Weiterhin wurden die Daten von Personen, deren Datenerhebung insgesamt nicht manualkonform verlaufen war, gelöscht. Die Angaben über die Manualkonformität der übrigen Personen wurden dann nach Manualkonformität auf Gruppen- und Klassenebene aufgeschlüsselt.

Die fachinterne Datenbereinigung wurde systematisch nach dem hier beschriebenen Verfahren durchgeführt. Sie erfolgte im Gegensatz zur projektübergreifenden Datenbereinigung nicht computergestützt, sondern auf Basis einer visuellen Begutachtung. Da sie – im Gegensatz zur projektübergreifenden Datenbereinigung – in einem Zeitraum abgeschlossen wurde, der Auswertungen im Sinne der vorliegenden Forschungsinteressen ermöglichte, wurde die dar-

aus resultierende Datentabelle in diesem Sinne verwendet. Die fachintern bereinigte Datentabelle ist somit maßgeblich für alle Analysen in der vorliegenden Arbeit.

4 Methodentheorie

4.1 Statistik

Die Statistik umfasst eine Reihe von Methoden zur Auswertung quantitativer Daten. Diese werden drei Teilbereichen – der explorativen Statistik, der deskriptiven Statistik und der induktiven Statistik – zugeordnet (Fahrmeir et al., 2016). Da lediglich die deskriptive und induktive Statistik für die vorliegende Arbeit relevant sind, beschränkt sich dieses Kapitel auf die Darstellung dieser beiden Teilbereiche.

Die deskriptive Statistik umfasst Methoden zur übersichtlichen Darstellung von Daten. Dazu werden sowohl Visualisierungen als auch Kennwerte genutzt (Fahrmeir et al., 2016). Die Kennwerte, die im Teilbereich der deskriptiven Statistik von Interesse sind, ermöglichen es, die Verteilung von Merkmalsausprägungen in einer Stichprobe zusammenfassend darzustellen. Dazu gehören Lagemaße wie der Mittelwert und der Median und Streuungsmaße wie die Varianz und die Standardabweichung. Diese Maße charakterisieren lediglich die zugrunde liegende Stichprobe. Eine Übertragung der Ergebnisse auf deren Grundgesamtheit ist ohne ein entsprechendes Prüfergebnis nicht zulässig (Bortz & Schuster, 2010).

Die Prüfung der Übertragbarkeit von Ergebnissen gehört zu den Aufgaben der induktiven Statistik. Deren Methoden werden beispielsweise genutzt, um die Wirksamkeit von Maßnahmen zu bewerten (Fahrmeir et al., 2016). Zu diesem Zweck werden Hypothesentests angewendet. Dabei werden zwei Hypothesen – die Nullhypothese und die Alternativhypothese – einander gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung unterliegt der Annahme, dass die Nullhypothese so lange gilt, bis sie aufgrund der Testergebnisse im Sinne der Alternativhypothese verworfen werden muss (Rumsey, 2020). Zu den hierbei angewendeten Verfahren gehören der Einstichproben-t-Test, der Zweistichproben-t-Test und die Varianzanalyse (Eid et al., 2015).

Zur Interpretation der Ergebnisse von Hypothesentests wird der p-Wert herangezogen. Wenn dieser unter einem im Vorhinein festgelegten Niveau liegt, gilt das Ergebnis als signifikant. Die Nullhypothese wird dann zugunsten der Alternativhypothese verworfen. Als Signifikanzniveau wird typischerweise der Wert $p = 0,05$ genutzt. Ein noch strengeres Maß, das ebenfalls verwendet wird, ist das Signifikanzniveau $p = 0,01$ (Rumsey, 2020).

Neben dem p-Wert ist auch die Teststärke entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse von Hypothesentests. Sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine tatsächlich zutreffende Alternativhypothese angenommen wird (Bortz & Schuster, 2010). Ihre Berechnung ist notwendig, wenn zu beurteilen ist, ob ein nicht-signifikantes Ergebnis tatsächlich für die Nullhypothese spricht. In der Regel werden Werte von mindestens 80% als ausreichend anerkannt (Döring & Bortz, 2016).

Die Angabe des p-Wertes und der Teststärke ist für die Interpretation der Ergebnisse notwendig, aber nicht hinreichend. Um die Bedeutung einer Maßnahme adäquat einschätzen zu können, ist zusätzlich die Angabe einer Effektgröße erforderlich. Diese vermag es, den praktischen Nutzen der Maßnahme auszuweisen. Um die Verwendbarkeit der Effektgrößen in weiterführenden Studien – wie beispielsweise Metaanalysen – zu gewährleisten, werden standardisierte Maße zu deren Berechnung genutzt. Ein häufig verwendetes Maß ist Cohens d , das im Bereich um 0,2 einen kleinen, im Bereich um 0,5 einen mittleren und im Bereich um 0,8 einen großen Effekt ausweist (Döring & Bortz, 2016).

4.2 Vergleichende Fallanalyse nach Yin

Fallanalysen sind in der Methodenliteratur nicht einheitlich definiert. Dass dies durchaus verwirrend sein kann, zeigt ein Kommentar von Gerring (2007), der die Vielzahl der Definitionen mit einem Moor gleichsetzt: „The key term of this book is, admittedly, a definitional morass“ (S. 17). Unter genauer Betrachtung der zahlreichen Definitionen zeigen sich jedoch Gemeinsamkeiten. So beschreiben verschiedene Autoren (s. bspw. Gerring, 2007; Gillham, 2000; Hancock et al., 2021; Sandelowski, 2011; Woodside, 2017; Yin, 2018) den Fall als Untersuchungsgegenstand, dessen Vielseitigkeit und Komplexität im Rahmen der Analyse ergründet wird.

Die Definition der Fallanalyse nach Yin (2018) entspricht dem Verständnis der bereits genannten zitierten Autoren. Sie unterscheidet sich von den übrigen Definitionen allerdings dadurch, dass sie den Forschungsgegenstand konkretisiert. Diesen beschreibt Yin (2018) als Phänomen, das in einen Kontext eingebettet ist. Diese beiden Komponenten zu differenzieren ist dem Autor zufolge nicht möglich.

Ausgehend von seiner Definition beschreibt Yin (2018) die Grenzen des Anwendungsspektrums von Fallanalysen. Diese Grenzen liegen in der Verallgemeinerbarkeit von Merkmalsausprägungen. So ist es nicht möglich, die Wirksamkeit einer Maßnahme – wohl aber deren Wirkungsweise – anhand einer Fallanalyse zu identifizieren. Dies ist auf die geringe Größe der zugrunde liegenden Stichprobe zurückzuführen. Anstelle von wenigen Daten vieler Merkmalsträger werden in Fallanalysen viele Daten weniger Merkmalsträger erhoben. Dennoch ist mit der Fallanalyse das Ziel verknüpft, verallgemeinerbare Erkenntnisse zu gewinnen. Diese Verallgemeinerung hat jedoch einen argumentativen Charakter (Yin, 2018).

Bezüglich der Gestaltung von Fallanalysen unterscheidet Yin (2018) vier Varianten. Diese ergeben sich aus der Anzahl betrachteter Fälle und der darin enthaltenen Analyseeinheiten. Unter dem ersten Aspekt wird zwischen der Betrachtung eines einzelnen Falls – dem Single-Case-Design – und der Betrachtung mehrerer Fälle – dem Multiple-Case-Design – unterschieden. Unter dem zweiten Aspekt wird zwischen der Betrachtung eines Falls in seiner Gesamtheit – dem holistischen Design – und der Betrachtung von Untereinheiten eines Falls – dem eingebetteten Design – unterschieden (Yin, 2018).

Multiple-Case-Designs erfordern gemäß Yin (2018) zunächst eine vollständige Analyse der einzelnen Fälle. Dabei wird aus jedem Fall eine von den übrigen Fällen unabhängige Schlussfolgerung gezogen. Die übergreifende Analyse – die vergleichende Fallanalyse – erfolgt dann auf einer übergeordneten Ebene. Dort werden die jeweiligen Schlussfolgerungen miteinander verglichen, um eine übergreifende Erkenntnis zu formulieren (s. Abb. 4.1). Wie in der experimentellen Forschung wird dabei das Prinzip der Replikation angewendet. So soll eine einzelne Fragestellung durch mehrere Analysen beantwortet werden (Yin, 2018).

Für die Durchführung und Darstellung von Fallanalysen ist laut Yin (2018) die Einhaltung von vier Gütekriterien erforderlich. Im Einzelnen sollte die Ana-

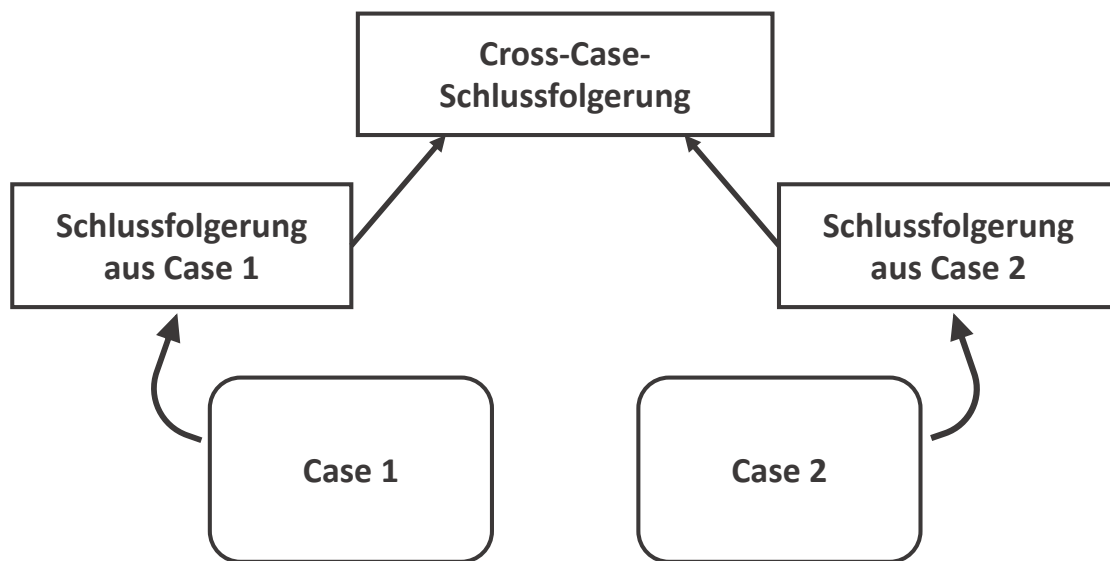


Abbildung 4.1: Erkenntnisgewinnung in vergleichenden Fallanalysen.
Abbildung erstellt in Anlehnung an Yin (2018, S. 58, Abb. 2.1).

lyse durch die Einhaltung der Konstruktvalidität, das heißt die Angemessenheit der erhobenen Daten in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand, die Einhaltung der internen Validität, das heißt die Sicherstellung einer identifizierten Ursache-Wirkungskette, die Einhaltung der externen Validität, das heißt die Nachvollziehbarkeit der Übertragung der Ergebnisse, und die Einhaltung der Reliabilität, das heißt die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Wiederholung der Studie, gekennzeichnet sein (Yin, 2018).

4.3 Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring

Die Qualitative Inhaltsanalyse (QIA) ist besonders als Analyseverfahren in Fallanalysen geeignet, da sie es vermag, Textmaterial in einer umfänglichen und gebührenden Weise zu beschreiben (Mayring, 2022). Wie eine QIA genau erfolgt, welchen Schwerpunkt sie setzt und welchen Qualitätsmaßstäben sie genügen sollte wird allerdings kontrovers diskutiert (Gläser & Laudel, 2019; Mayring, 2022; Schreier, 2014). Die Vielzahl unterschiedlicher Definitionen und Vorgaben erklärt Mayring (2022) mit der Diversität der Forschungsfelder der an der Diskussion beteiligten Autoren. Einigkeit lässt sich dem Autor zufolge jedoch in der Auffassung identifizieren, dass die QIA Formen der Kommunikation untersucht und dabei zielgerichtet vorgeht. Darüber hinaus können in der Durchsicht

der Literatur weitere Ähnlichkeiten in den methodischen Ansätzen identifiziert werden. So heben verschiedene Autoren (s. bspw. Gläser & Laudel, 2019; Kuckartz & Rädiker, 2022; Mayring, 2022; Schreier, 2014) hervor, dass die Bildung von Kategorien und deren Verbindung mit dem zu analysierenden Material den Kern der QIA bildet. Mayring (2022) unterstreicht die Relevanz von Kategorien innerhalb des Verfahrens sogar durch den Vorschlag einer alternativen Methodenbezeichnung. So sei der Begriff „kategoriengeleitete Textanalyse“ (Mayring, 2022, S. 13) passender.

Die Erarbeitung von Kategorien kann sowohl deduktiv als auch induktiv oder durch eine Mischform beider Ansätze ablaufen. Die deduktive Bildung erfolgt auf Basis von Vorannahmen, die von dem theoretischen Hintergrund des Forschungsvorhabens oder dem Allgemeinwissen der analysierenden Person ausgehen. Die induktive Bildung erfolgt hingegen auf Basis des zu analysierenden Materials. In einem Zusammenspiel beider Formen, der deduktiv-induktiven Kategorienbildung, werden zunächst deduktiv Kategorien gebildet, die dann induktiv durch Unterkategorien ausgeschärft oder durch weitere Kategorien derselben Ebene ergänzt werden (Kuckartz & Rädiker, 2022).

Die Kategorien werden in einem System angeordnet, das ihnen Definitionen zuteilt, die neben bloßen Beschreibungen auch Ankerbeispiele und Anwendungsregeln enthalten. Die Definitionen helfen den Analyseteams dabei, die Kategorien in einheitlicher Weise auf das zu untersuchende Material anzuwenden. Darüber hinaus ermöglichen sie es den zukünftigen Lesenden der Forschungsberichte die Bedeutung der Kategorien zu verstehen. Das Kategoriensystem trägt somit in erheblichem Maße zur Regelgeleitetheit der QIA bei (Kuckartz & Rädiker, 2022).

Die Anwendung des Kategoriensystems und dessen induktive (Weiter-)Entwicklung erfolgen durch den Vorgang des Codierens, dem einander Zuordnen von Kategorien und Textstellen (Kuckartz & Rädiker, 2022; Schreier, 2014). Das Ergebnis dieses Vorgangs ist eine komprimierte Form des Ausgangsmaterials, das lediglich solche Inhalte umfasst, die im Interesse des Forschungsvorhabens stehen. Diese Inhalte sind gebündelt in Kategorien, die wiederum von der analysierenden Person formuliert und geordnet werden. Die QIA vermag es demnach, bedeutsame Inhalte in einer auswertbaren und wissenschaftlich darstellbaren Form aus dem Ausgangsmaterial zu exerzieren (Gläser & Laudel, 2019). Dieses ist im Sinne eines erweiterten Textbegriffs zu verstehen, der „Tex-

te[], Bilder[], Filme[] und andere[] Inhalten von Kommunikation“ (Kuckartz & Rädiker, 2022, S. 39) umfasst.

Wie ein ausgearbeitetes und auf ein Textmaterial angewendetes Kategoriensystem zur weiterführenden Analyse verwendet wird, ist von den Zielsetzungen des Forschungsvorhabens abhängig. Diese können sowohl in der Zusammenfassung als auch in der Strukturierung oder Explikation von Textmaterial bestehen (Mayring, 2022). Der Fokus liegt dabei entweder auf den untersuchten Fällen oder den identifizierten Kategorien (Kuckartz & Rädiker, 2022). Die Analyseschritte werden dabei stets individuell und auf Basis tragender Argumente festgelegt. Dies kann beispielsweise mit Hilfe eines Rückgriffs auf den theoretischen Hintergrund erfolgen (Mayring, 2022).

Die Quantifizierung der Ergebnisse des Codiervorgangs stellt gemäß verschiedener Autoren (s. bspw. Gläser & Laudel, 2019; Kuckartz & Rädiker, 2022; Mayring, 2022) einen potenziellen Analyseschritt dar. Mit Hinblick auf den Stellenwert, welcher der Quantifizierung zugesprochen wird, zeigen sich jedoch Unterschiede in den methodischen Ansätzen. So betonen Kuckartz und Rädiker (2022), dass die QIA „primär qualitativ“ (S. 39) erfolgt, wohingegen Mayring (2022) bekräftigt, „dass eine Integration qualitativer und quantitativer Verfahrensweisen angestrebt wird“ (S. 52).

Das Zusammenspiel qualitativer und quantitativer Vorgehensweisen innerhalb der QIA erörtert Mayring (2022) anhand des übergeordneten Rahmens empirischer Forschung: Die Entwicklung von Konzepten erfolgt zunächst im Zuge qualitativer Forschung. Die Konzepte werden daraufhin für die quantitative Forschung genutzt. Die Interpretation und Einordnung der quantitativen Ergebnisse ist wiederum ein qualitativer Vorgang. Dabei wird eine konsequente methodische Abgrenzung eingehalten (Mayring, 2022).

Als Beispiel für ein qualitativ-quantitatives Vorgehen nennt Mayring (2022) die Häufigkeitsanalyse, die vorsieht, dass das Ergebnis des Codiervorgangs ausgezählt wird. Daten dieser Art können der Priorisierung und Wertung von Kategorien dienen und sowohl für die Zusammenfassung als auch die Strukturierung von Textmaterial genutzt werden (Mayring, 2022).

Die Präsentation der gewonnenen Erkenntnisse erfolgt schließlich unter Einbezug der Auseinandersetzung mit der Frage, ob die fallspezifischen Ergebnisse der QIA auf weitere Fälle übertragen werden können. Sie zu bejahen erfordert tragende Argumente, die für das Zutreffen der gewonnenen Erkenntnisse in-

nerhalb eines ausgeweiteten Rahmens sprechen. Diese können jedoch nicht in jedem Forschungsvorhaben identifiziert werden (Kuckartz & Rädiker, 2022).

Ein weiterer, essentieller Bestandteil der Präsentation ist die Darstellung der Einhaltung von Gütekriterien (Kuckartz & Rädiker, 2022; Mayring, 2022; Schreier, 2014). Welche Gütekriterien einzuhalten sind und welche Form diese haben sollten ist gemäß Flick (2020) allerdings strittig. Die Uneinigkeit besteht in der Frage, inwiefern und ob die in der quantitativen Forschung etablierten Gütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität in der qualitativen Forschung Anwendung finden können (Flick, 2020). So plädieren Kuckartz und Rädiker (2022) beispielsweise für die Etablierung alternativer Standards. Mayring (2022) hält hingegen an den aus der quantitativen Forschung bekannten Gütekriterien fest. Dem Autor zufolge besteht eine Notwendigkeit zu deren Verankerung aufgrund des geringen Standardisierungsgrads der qualitativen Forschung. Insbesondere sieht er in der Formulierung von Gütekriterien nach Krippendorff (1980) eine „schlüssige und größtenteils gut anwendbare Fassung von inhaltsanalytischen Gütekriterien“ (Mayring, 2022, S. 123).

Die Gütekriterien gemäß Krippendorff (1980) werden in einer Neuauflage aus dem Jahr 2019 dargestellt. Darin beschreibt der Autor seine Konzeptionen der Validität und Reliabilität. Dabei nutzt er teilweise veränderte Begrifflichkeiten und sieht von der Beschreibung der Objektivität gänzlich ab.

Krippendorffs (2019) Konzeption der Validität umfasst drei Dimensionen: Plausibilität, Soziale Geltung und Empirische Wirksamkeit. Plausibilität ist ihm zufolge dann gegeben, wenn die generierten Erkenntnisse einleuchtend sind. Soziale Geltung besteht wiederum dann, wenn die Ergebnisse eine gesellschaftliche Relevanz aufweisen. Empirische Wirksamkeit liegt letztlich vor, wenn der Forschungsprozess durch ein Zusammenspiel von Hintergrundtheorie und Belegen im Datenmaterial geprägt ist (Krippendorff, 2019).

Die Konzeption der Reliabilität gemäß Krippendorff (2019) umfasst ebenfalls drei Dimensionen. Der Autor sieht die Stabilität, Replizierbarkeit und Genauigkeit von Ergebnissen als Merkmale der Reliabilität an. Stabilität ist ihm zufolge dann gegeben, wenn die mehrfache Codierung desselben Materials durch dieselbe Person zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu einer Ergebnisreproduktion führt. Ihre Prüfung erfolgt anhand von Test-Retest Verfahren. Replizierbarkeit besteht wiederum dann, wenn die Codierung desselben Materials durch unterschiedliche Personen zu einer Ergebnisreproduktion führt. Sie wird anhand

von Test-Test-Verfahren geprüft. Genauigkeit liegt letztlich vor, wenn die Codierung eines Materials dem etablierten Standard entspricht. Ihre Prüfung erfolgt durch einen entsprechenden Abgleich in Test-Standard-Verfahren (Krippendorff, 2019).

5 Studie I: Auswirkung von BYOD und Pool auf die Lernleistung

Studie I entwickelt eine Empfehlung für Entscheidungen über die Form der Bereitstellung digitaler Endgeräte im Schulunterricht und nimmt dabei die Perspektive der Didaktik ein. Aus dieser Perspektive ist die Auswirkung der Bereitstellungsform auf die Lernleistung zentral. Teilergebnisse von Studie I – genauer Ergebnisse aus der aufgabenübergreifenden Analyse (s. Kapitel 5.3.1) – wurden bereits in einem Tagungsbandartikel (s. F. E. Kremer & Marohn, 2023) veröffentlicht. Ein weiterer Artikel mit entsprechenden Inhalten (genauer F. E. Kremer et al., unveröffentlichtes Manuskript) befindet sich zurzeit in Bearbeitung.

5.1 Konkretisierung der Forschungsfragen

Studie 1 widmet sich dem Forschungsinteresse 1, das in Kapitel 1.3 begründet wird. Es lautet:

FI 1: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Geräts im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Geräts auf die Lernleistung im digital gestützten Unterricht aus?

Zur Entwicklung von Forschungsfragen, die auf Basis des verfügbaren Datenpools beantwortet werden können, wird das Forschungsinteresse mit Hinblick auf die zugrunde liegende Datenerhebung konkretisiert. Diese wurde im Kontext von digital gestützten Workshops durchgeführt, die den ausschließlichen Gebrauch von Smartphones vorsehen. Dabei wurde die Lernleistung anhand von Prä- und Post-Fachwissenstests gemessen. Das Forschungsinteresse 1

wird entsprechend dieser Merkmale eingegrenzt. Die daraus resultierende Forschungsfrage 1 bildet die übergreifende Fragestellung von Studie I und lautet:

FF 1: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den Fachwissenszuwachs in einem digital gestützten Workshop aus?

Zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 können vielfältige Möglichkeiten zur Auswertung von Teildatensätzen genutzt werden. Teildatensätze können beispielsweise mit Hinblick auf die abhängige Variable erstellt werden. So besteht beim Fachwissenstest die Möglichkeit, die Gesamtergebnisse oder die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben zu analysieren. Weiterhin können Teildatensätze auch mit Hinblick auf die Merkmalsträger erstellt werden. So können Lernende auf Basis ihrer Hintergrundmerkmale von der Analyse ein- oder ausgeschlossen werden.

In Anbetracht dieser Möglichkeiten wird Forschungsfrage 1 in Unterfragen gegliedert. Die erste Unterfrage wird mit dem Ziel formuliert, die zugrunde liegenden Merkmalsträger und Aufgaben nicht zu konkretisieren. Sie dient somit dem Erhalt generischer Antworten und lautet:

FF 1.1: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den aufgabenübergreifenden Fachwissenszuwachs in einem digital gestützten Workshop aus?

Im Gegensatz dazu konkretisiert die zweite Unterfrage die zugrunde liegenden Aufgaben. Diese unterscheiden sich sowohl in ihrem Gestaltungsformat als auch in den von ihnen erfragten Workshop-Inhalten. Die gesonderte Betrachtung dieser Aufgaben bietet folglich eine zusätzliche Möglichkeit zur Detektion von Unterschieden in den Auswirkungen von BYOD und Pool, die sich möglicherweise nur in spezifischen Erhebungskontexten äußern. Die zweite Unterfrage lautet:

FF 1.2: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den aufgabenbezogenen Fachwissenszuwachs in einem digital gestützten Workshop aus?

Die dritte Unterfrage bedingt die Analyse unterschiedlicher Merkmalsträger. Diese Analyse soll Hinweise darauf geben, ob und inwiefern Lernende mit spezi-

ellen Merkmalsausprägungen von der Auswirkung der Bereitstellungsform auf den Fachwissenszuwachs betroffen sein könnten. Die dritte Unterfrage lautet:

FF 1.3: Inwiefern wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den aufgabenübergreifenden Fachwissenszuwachs merkmalspezifischer Teilpopulationen in einem digital gestützten Workshop aus?

5.2 Konkretisierung der angewandten Methodik

Die in Kapitel 5.1 dargelegten Forschungsfragen bedingen die Analyse der quantitativen Prä- und Post-Fachwissenstestergebnisse mit den Methoden der Statistik. Diese werden grundlegend in Kapitel 4.1 vorgestellt und sollen hier weiterführend konkretisiert werden. Ihre Anwendung erfolgte mithilfe eines Analyse-Skripts, das als Teil der hier vorgestellten Promotionsleistung eigenverantwortlich in der Programmiersprache R geschrieben wurde.

5.2.1 Stichprobe

Die Auswertung der Fachtest-Ergebnisse beschränkt sich auf diejenigen Lernenden, die sowohl auf Individual- als auch auf Gruppen- und Klassen-Ebene eine manuellkonforme Workshopdurchführung erhalten haben. Dieses Kriterium ist für eine Stichprobe von insgesamt 317 Lernenden erfüllt. Sie entstammt 15 Klassen der Jahrgänge 8 und 9 von insgesamt 8 Gymnasien im Raum Münsterland, Nordrhein-Westfalen. Die Stichprobe umfasst 126 (39,75%) männliche, 151 (47,63%) weibliche und 6 (1,89%) diverse Lernende. Weitere 34 (10,73%) Lernende haben keine Angaben zu ihrem Geschlecht gemacht. Das Alter der Lernenden umfasst eine Spanne von 12 bis 16 Jahren, mit einem mittleren Alter von fast 14 Jahren ($M = 13,99$; $SD = 0,64$; n. a.: 34).

Die Gruppen BYOD und Pool umfassen vergleichbare Anzahlen von Lernenden. Genauer wurden 161 Lernende der BYOD-Gruppe und 156 Lernende der Pool-Gruppe zugeordnet. In den demographischen Daten sind die beiden Gruppen ebenso vergleichbar. So entspricht die Altersverteilung der BYOD-Gruppe ($M = 14,01$; $SD = 0,66$; n. a.: 14) annähernd derjenigen der Pool-Gruppe ($M = 13,96$; $SD = 0,62$; n. a.: 20). Ebenso war die Geschlechterverteilung

der BYOD-Gruppe (männlich: 71 Lernende bzw. 44,10%; weiblich: 72 Lernende bzw. 44,72%; divers: 4 Lernende bzw. 2,48%; n. a.: 14 Lernende bzw. 8,70%) mit der Geschlechterverteilung der Pool-Gruppe (männlich: 55 Lernende bzw. 35,26%; weiblich: 79 Lernende bzw. 50,64%; divers: 2 Lernende bzw. 1,28%; n. a.: 20 bzw. 12,82%) vergleichbar.

5.2.2 Auswahl und Anwendung statistischer Verfahren

Gemäß den in Kapitel 5.1 aufgeführten Fragestellungen steht die Identifikation des Fachwissenszuwachses und der Vergleich des Fachwissenszuwachses in den Bereitstellungsbedingungen BYOD und Pool im Fokus der Datenanalyse. Die angewandten statistischen Verfahren wurden den Fragestellungen entsprechend ausgewählt. So wird die Analyse des Fachwissenszuwachses in den Workshops durch einen Prä-Post-Vergleich anhand gepaarter t-Tests, Wilcoxon-Tests und der Betrachtung von Messzeitpunkteffekten mit gemischten Varianzanalysen erzielt. Die Verfahren ergänzen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen. Beispielsweise basiert der gepaarte t-Test auf den Differenzen zusammengehöriger Daten (Stone, 2010b), wohingegen der Wilcoxon-Test auf Datenrängen basiert (Weiß, 2005).

Die Verfahren werden zunächst bereitstellungsübergreifend und anschließend bereitstellungsspezifisch durchgeführt. Letzteres soll einen ersten Hinweis auf mögliche Unterschiede zwischen BYOD und Pool geben. Diese Unterschiede werden darauffolgend anhand ungepaarter t-Tests, Mann-Whitney-U-Tests und der Betrachtung von Gruppeneffekten mit gemischten Varianzanalysen genauer untersucht. Auch diese Verfahren ergänzen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen. So basiert der ungepaarte t-Test auf den Mittelwerten der kontrastierten Gruppen (Stone, 2010a), wohingegen der Mann-Whitney-U-Test auf Datenrängen basiert (Hinton, 2010).

Entsprechend Unterfrage *FF 1.1* erfolgt die Datenanalyse zunächst personen- und aufgabenübergreifend. Die benannten Verfahren werden demgemäß auf die Gesamtergebnisse der Fachtests angewandt (s. Kapitel 5.3.1). Anschließend wird eine äquivalente Analyse hinsichtlich der einzelnen Fachtest-Aufgaben durchgeführt (s. Kapitel 5.3.2), um Unterfrage *FF 1.2* zu beantworten. Zuletzt erfolgt eine workshopübergreifende Analyse anhand merkmalspezifischer Teilstichproben (s. Kapitel 5.3.3) zur Beantwortung von Unterfrage *FF 1.3*. In die-

sem Fall wird im Sinne der übersichtlichen Ergebnis-Präsentation auf eine ausgedehnte Analyse verzichtet. Stattdessen erfolgt hier eine Kurzanalyse unter ausschließlicher Anwendung gemischter Varianzanalysen.

5.2.3 Prüfung und Erhalt erforderlicher Voraussetzungen

Die Anwendung statistischer Verfahren ist an die Einhaltung von Voraussetzungen gebunden. Eine dieser Voraussetzungen ist das Ausbleiben von Ausreißern. Zu begründen ist dies damit, dass einige der aufgeführten Verfahren – genauer der gepaarte t-Test (s. Zumbo & Jennings, 2002), der ungepaarte t-Test (s. Zimmerman, 1994) und die gemischte Varianzanalyse (s. Leys et al., 2019) – in erhöhtem Maße von Ausreißern beeinflusst werden.

Dass Ausreißer in dem hier betrachteten Datensatz vorliegen, wird beispielsweise in den Abbildungen 5.1 und 5.2 deutlich. Die Ausreißer können nach Eid et al. (2015) von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Dies ist den Autoren zufolge jedoch nur angemessen, „wenn gute Gründe für die Annahme bestehen, dass der Wert auf einen Fehler zurückgeführt werden kann“ (Eid et al., 2015, S. 282).

Potenzielle Fehler im vorliegenden Datensatz könnten auf die Datenerhebung – beispielsweise auf den Boykott eines Fachtests oder auf das Abschreiben von einem Nachbartest – zurückgeführt werden. Ein abschließender Nachweis kann darüber jedoch nicht erbracht werden. Weitere potenzielle Fehler könnten auf die Datenübertragung zurückgeführt werden. Um diese Möglichkeit zu prüfen wurden alle Lernenden identifiziert, die entsprechend dem von Hemmerich (2023a) aufgeführten Identifikationsmaß Ausreißer darstellen. Dieses Maß weist Daten, die außerhalb des Bereichs von drei Standardabweichungen um den Mittelwert liegen, als Ausreißer aus. Ein Abgleich der entsprechenden Datenreihen mit den originalen Erhebungsinstrumenten konnte jedoch keine Fehler in der Datenübertragung aufdecken.

Die Identifikation von Fehlern in dem vorliegenden Datensatz bleibt somit aus. Aus diesem Grund wird von dem Ausschluss von Ausreißern aus der Datenanalyse abgesehen. Um einen möglicherweise verfälschenden Einfluss von Ausreißern zu prüfen wurde stattdessen eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der keine Ausreißer berücksichtigt wurden. Eine Zusammenfassung der Er-

gebnisse findet sich in Anhang 8.8. Diese legen nahe, dass die Kernaussagen der hier präsentierten Analyse nicht durch die Ausreißer verändert werden.

Die für Ausreißer sensiblen Verfahren sind weiterhin an bestimmte Charakteristika der Datenverteilung geknüpft. So setzen der ungepaarte t-Test (s. Bortz & Schuster, 2010) und die gemischte Varianzanalyse (s. Kraska, 2010) eine Normalverteilung der Daten voraus. Der gepaarte t-Test (s. Weiß, 2005) erfordert wiederum eine Normalverteilung der Differenzen von zusammengehörigen Daten. Verschiedene Studien legen jedoch nahe, dass die benannten Verfahren robust gegenüber einer Verletzung der jeweiligen Voraussetzungen sind. Dies gilt für die gemischte Varianzanalyse unabhängig von der Stichprobengröße (Hemmerich, 2023b) und bei einer Stichprobengröße von mindestens 30 Personen auch für den gepaarten (s. Weiß, 2005) und ungepaarten t-Test (s. Boneau, 1960). In Anbetracht der vorliegenden Stichprobengröße von 317 Personen wird in den folgenden Analysen daher auf eine Prüfung der Datenverteilung verzichtet und von der Robustheit der eingesetzten statistischen Verfahren ausgegangen.

Für zwei der aufgeführten Verfahren ist die Einhaltung weiterer Voraussetzungen erforderlich. Genauer ist Homoskedastizität eine notwendige Bedingung für ungepaarte t-Tests (s. Bortz & Schuster, 2010) und gemischte Varianzanalysen (s. Murrar & Brauer, 2018). Sie wird in den folgenden Analysen durch Levene-Tests geprüft und an den entsprechenden Stellen berichtet.

Die gemischte Varianzanalyse setzt darüber hinaus die Homogenität der Kovarianzen und Sphärizität voraus (Kraska, 2010). Erstere wird in den folgenden Analysen anhand von Box-Tests geprüft und berichtet. Letztere wird in Anlehnung an Laumann et al. (2024) aufgrund des Vorliegens zweistufiger Faktoren als gegeben vorausgesetzt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Aufgabenübergreifende Analyse

Die Verteilung der Ergebnisse des Prä- und Post-Tests sind gruppenübergreifend in Abbildung 5.1 dargestellt. Die Lernenden erzielten einen höheren Anteil korrekter Antworten im Post-Test ($M = 71,27$; $SD = 22,98$; $Mdn = 77,27$) als im Prä-Test ($M = 7,69$; $SD = 9,95$; $Mdn = 4,55$). Dieser Unterschied ist sowohl

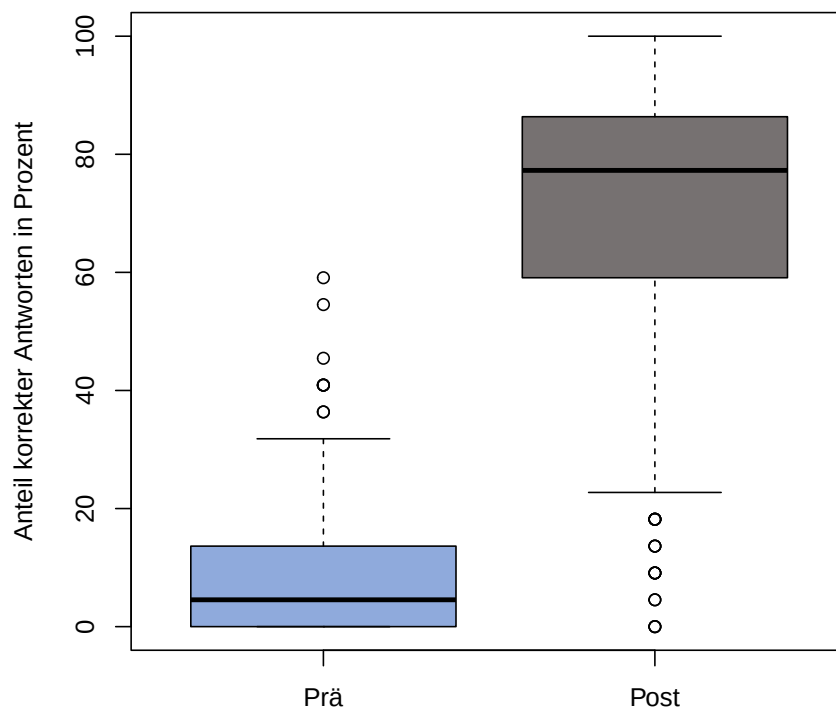


Abbildung 5.1: Verteilung der gruppenübergreifenden Prä- und Post-Testergebnisse

nach einem gepaarten t-Test ($t(316) = -48,80$; $p < 0,001$; $d = 2,74$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 7,00$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) signifikant. Nach Cohen (1992) sind die Effektstärken beider Tests groß.

Die gruppenspezifischen Verteilungen der Prä- und Post-Testergebnisse sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Darüber hinaus sind die mittleren Ergebnisse von beiden Tests der beiden Gruppen in Abbildung 5.3 dargestellt. In der BYOD-Gruppe erzielten die Lernenden einen höheren Anteil korrekter Antworten im Post-Test ($M = 69,97$; $SD = 23,10$; $Mdn = 72,73$) als im Prä-Test ($M = 7,82$; $SD = 9,37$; $Mdn = 4,55$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(160) = -33,39$; $p < 0,001$; $d = 2,63$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 2,5$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) signifikant. Dasselbe gilt für die Lernenden der Pool-Gruppe. Sie erzielten höhere Ergebnisse im Post-Test ($M = 72,61$; $SD = 22,85$; $Mdn = 77,27$) als im Prä-Test ($M = 7,55$; $SD = 10,54$;

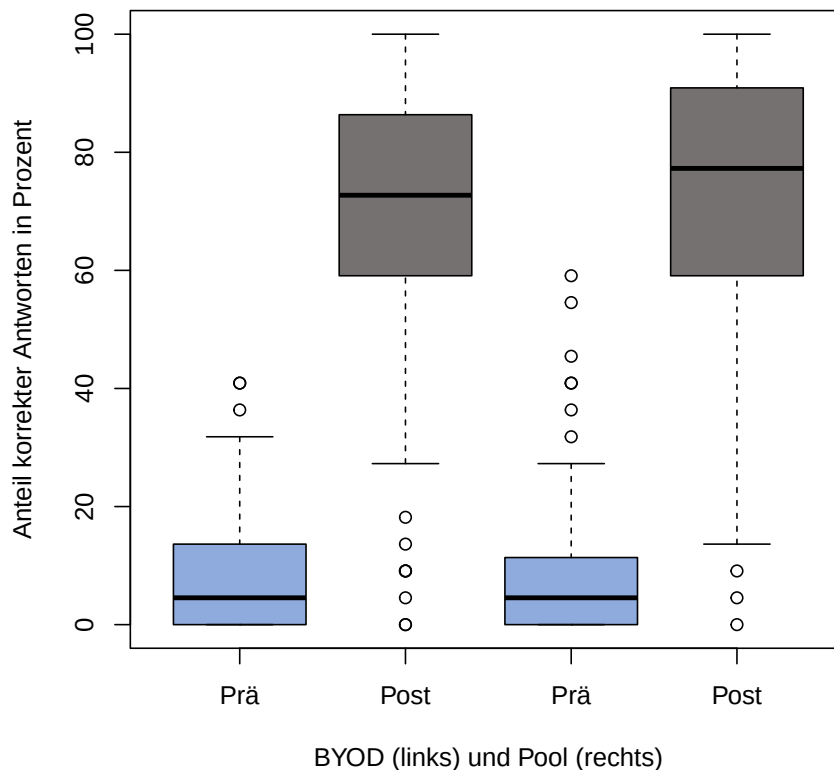


Abbildung 5.2: Verteilung der gruppenspezifischen Prä- und Post-Testergebnisse

$Mdn = 4,55$). Auch dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(155) = -35,73$; $p < 0,001$; $d = 2,86$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 1,5$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) signifikant. Nach Cohen (1992) sind die jeweiligen Effektstärken groß.

Die Verteilung der Fachwissenszuwächse, das heißt der Differenzen der Anteile korrekter Antworten in den Post- und Prä-Tests, ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Der mittlere Fachwissenszuwachs der BYOD-Gruppe ($M = 62,15$; $SD = 23,62$; $Mdn = 63,64$) ist geringfügig kleiner als der mittlere Fachwissenszuwachs der Pool-Gruppe ($M = 65,06$; $SD = 22,75$; $Mdn = 68,18$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem ungepaarten t-Test ($t(315) = -1,12$; $p = 0,265$) als auch nach einem Mann-Whitney-U-Test ($U(N_1 = 161, N_2 = 156) = 11558,00$; $p = 0,220$) nicht signifikant. Das Vorliegen von Homoskedastizität als Voraus-

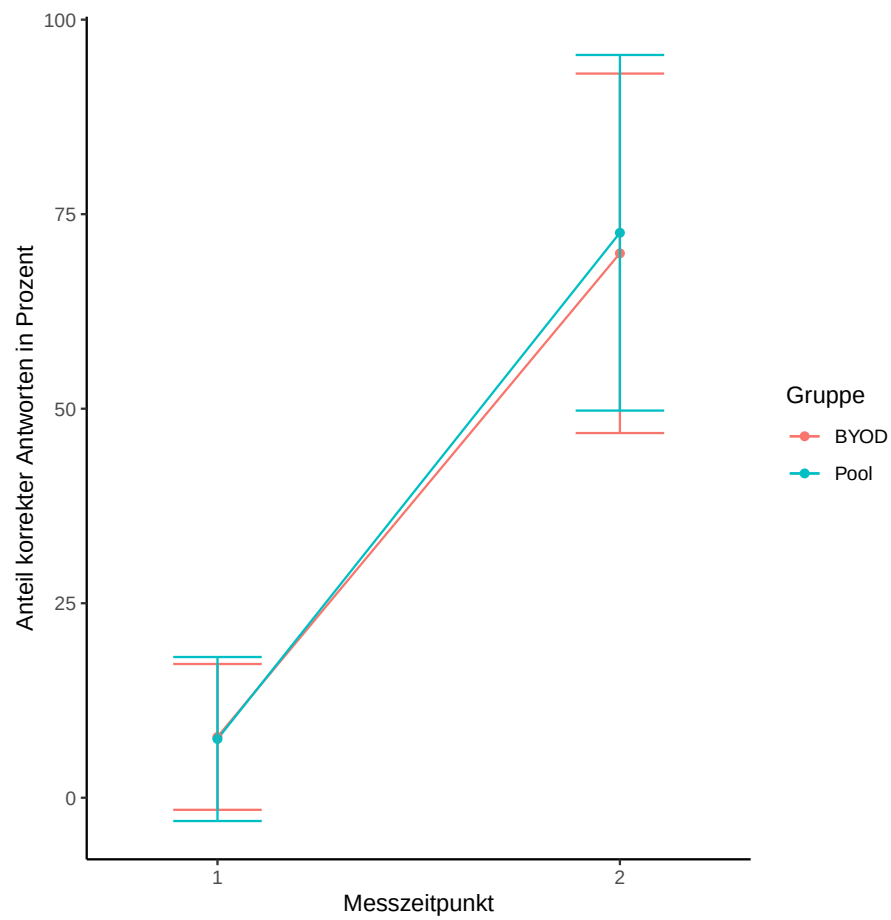


Abbildung 5.3: Gruppenspezifische Darstellung der mittleren Prä- und Post-Testergebnisse

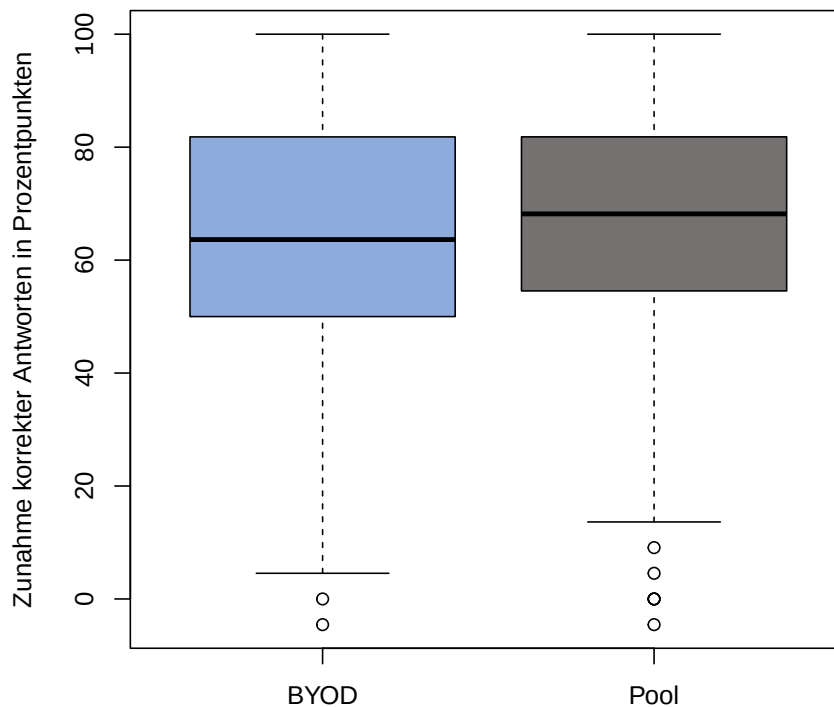


Abbildung 5.4: Verteilung der gruppenspezifischen Fachwissenszuwächse

setzung des ungepaarten t-Tests wird durch einen Levene-Test bestätigt: $F(1) = 0,91$; $p = 0,340$.

Das Vorliegen von Gruppen- und Messzeitpunkt-Effekten wurde überdies durch eine gemischte Varianzanalyse geprüft. Diese zeigt einen signifikanten Haupteffekt des Messzeitpunkts ($F(1, 315) = 2383,93$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,764$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit, $F(1, 315) = 0,62$; $p = 0,433$; $\eta^2 = 0,001$. Die Stärke des messzeitpunktbezogenen Haupteffekts ist nach Cohen (1988) groß. Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor, $F(1, 315) = 1,25$; $p = 0,265$; $\eta^2 = 0,002$. Das Vorliegen von Homoskedastizität wird durch einen Levene-Test ($F(1) = 2,54$; $p = 0,112$) und das Vorliegen der Homogenität der Kovarianzen durch einen Box-Test bestätigt, $p = 0,509$.

5.3.2 Aufgabenspezifische Analyse

Bezüglich Aufgabe 1 – der Benennung der Bauteile eines Akkumulators – sind die Anteile korrekter Antworten im Post-Test ($M = 79,42$; $SD = 37,05$; $Mdn = 100$) gruppenübergreifend höher als im Prä-Test ($M = 11,99$; $SD = 28,1$; $Mdn = 0$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(316) = -28,472$; $p < 0,001$; $d = 1,60$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 64,00$; $p < 0,001$; $r = 0,844$) signifikant. Dasselbe gilt für die gruppenspezifischen Ergebnisse. So erzielten die Lernenden beider Gruppen im Post-Test (BYOD: $M = 77,17$; $SD = 38,06$; $Mdn = 100$, Pool: $M = 81,73$; $SD = 35,96$; $Mdn = 100$) signifikant höhere Anteile korrekter Antworten als im Prä-Test (BYOD: $M = 9,94$; $SD = 25,51$; $Mdn = 0$, Pool: $M = 14,10$; $SD = 30,48$; $Mdn = 0$). Die Signifikanz dieser Unterschiede wird sowohl durch gepaarte t-Tests (BYOD: $t(160) = -20,47$; $p < 0,001$; $d = 1,61$, Pool: $t(155) = -19,73$; $p < 0,001$; $d = 1,58$) als auch durch Wilcoxon-Tests (BYOD: $V = 18,5$; $p < 0,001$; $r = 0,85$, Pool: $V = 14,0$; $p < 0,001$; $r = 0,84$) nachgewiesen. Nach Cohen (1992) sind die jeweiligen Effektstärken groß.

Der Fachwissenszuwachs bezüglich Aufgabe 1 unterscheidet sich zwischen der BYOD-Gruppe ($M = 67,24$; $SD = 41,67$; $Mdn = 100$) und der Pool-Gruppe ($M = 67,63$; $SD = 42,81$; $Mdn = 100$) nur geringfügig. Dieser Unterschied ist sowohl nach einem ungepaarten t-Test ($t(315) = -0,08$; $p = 0,934$) als auch nach einem Mann-Whitney-U-Test ($U(N_1 = 161, N_2 = 156) = 12408$; $p = 0,835$) nicht signifikant. Das Vorliegen von Homoskedastizität wird durch einen Levene-Test bestätigt: $F(1) = 0,01$; $p = 0,934$.

Das Vorliegen von Gruppen- und Messzeitpunkt-Effekten bezüglich Aufgabe 1 wurde überdies durch eine gemischte Varianzanalyse geprüft. Diese zeigt einen signifikanten Haupteffekt des Messzeitpunkts ($F(1, 315) = 807,98$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,51$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit, $F(1, 315) = 2,38$; $p = 0,124$; $\eta^2 = 0,00$. Die Stärke des messzeitpunktbezogenen Haupteffekts ist nach Cohen (1988) groß. Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor, $F(1, 315) = 0,01$; $p = 0,934$; $\eta^2 = 0,00$. Das Vorliegen von Homoskedastizität wird durch einen Levene-Test ($F(1) = 0,65$; $p = 0,419$) und das Vorliegen der Homogenität der Kovarianzen durch einen Box-Test bestätigt, $p = 0,765$.

Bezüglich Aufgabe 2 – der Identifikation von richtigen und falschen Aussagen über das Wirkungsprinzip eines Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators –

sind die Anteile korrekter Antworten im Post-Test ($M = 58,68$; $SD = 29,07$; $Mdn = 66,67$) gruppenübergreifend höher als im Prä-Test ($M = 11,93$; $SD = 18,76$; $Mdn = 0$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(316) = -24,81$; $p < 0,001$; $d = 1,39$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 1109$; $p < 0,001$; $r = 0,814$) signifikant. Dasselbe gilt für die gruppenspezifischen Ergebnisse. So erzielten die Lernenden beider Gruppen im Post-Test (BYOD: $M = 60,87$; $SD = 29,00$; $Mdn = 66,67$, Pool: $M = 56,41$; $SD = 29,05$; $Mdn = 50$) signifikant höhere Anteile korrekter Antworten als im Prä-Test (BYOD: $M = 11,80$; $SD = 18,51$; $Mdn = 0$, Pool: $M = 12,07$; $SD = 19,08$; $Mdn = 0$). Die Signifikanz dieser Unterschiede wird sowohl durch gepaarte t-Tests (BYOD: $t(160) = -18,06$; $p < 0,001$; $d = 1,42$, Pool: $t(155) = 17,05$; $p < 0,001$; $d = 1,36$) als auch durch Wilcoxon-Tests (BYOD: $V = 349$; $p < 0,001$; $r = 0,81$, Pool: $V = 212,5$; $p < 0,001$; $r = 0,82$) nachgewiesen. Nach Cohen (1992) sind die jeweiligen Effektstärken groß.

Der Fachwissenszuwachs bezüglich Aufgabe 2 unterscheidet sich zwischen der BYOD-Gruppe ($M = 49,07$; $SD = 34,47$; $Mdn = 50$) und der Pool-Gruppe ($M = 44,34$; $SD = 32,49$; $Mdn = 50$) nur geringfügig. Dieser Unterschied ist sowohl nach einem ungepaarten t-Test ($t(315) = 1,26$; $p = 0,210$) als auch nach einem Mann-Whitney-U-Test ($U(N_1 = 161, N_2 = 156) = 13904$; $p = 0,097$) nicht signifikant. Das Vorliegen von Homoskedastizität wird durch einen Levene-Test bestätigt: $F(1) = 0,01$; $p = 0,933$.

Das Vorliegen von Gruppen- und Messzeitpunkt-Effekten bezüglich Aufgabe 2 wurde überdies durch eine gemischte Varianzanalyse geprüft. Diese zeigt einen signifikanten Haupteffekt des Messzeitpunkts ($F(1, 315) = 615,54$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,48$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit, $F(1, 315) = 1,10$; $p = 0,296$; $\eta^2 = 0,00$. Die Stärke des messzeitpunktbezogenen Haupteffekts ist nach Cohen (1988) groß. Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor, $F(1, 315) = 886,57$; $p = 0,210$; $\eta^2 = 0,00$. Das Vorliegen von Homoskedastizität wird durch einen Levene-Test ($F(1) = 1,68$; $p = 0,195$) und das Vorliegen der Homogenität der Kovarianzen durch einen Box-Test bestätigt, $p = 0,444$.

Bezüglich Aufgabe 3 – der Nennung von Reichweitefaktoren – sind die Anteile korrekter Antworten im Post-Test ($M = 79,72$; $SD = 12,94$; $Mdn = 85,71$) gruppenübergreifend höher als im Prä-Test ($M = 7,17$; $SD = 12,94$; $Mdn = 0$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(316) = -46,23$;

$p < 0,001$; $d = 2,60$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 0$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) signifikant. Dasselbe gilt für die gruppenspezifischen Ergebnisse. So erzielten die Lernenden beider Gruppen im Post-Test (BYOD: $M = 77,46$; $SD = 27,37$; $Mdn = 85,71$, Pool: $M = 82,05$; $SD = 24,87$; $Mdn = 85,71$) signifikant höhere Anteile korrekter Antworten als im Prä-Test (BYOD: $M = 7,81$; $SD = 13,26$; $Mdn = 0$, Pool: $M = 6,50$; $SD = 12,61$; $Mdn = 0$). Die Signifikanz dieser Unterschiede wurde sowohl durch gepaarte t-Tests (BYOD: $t(160) = 2,60$; $p < 0,001$; $d = 2,34$, Pool: $t(155) = -36,56$; $p < 0,001$; $d = 2,93$) als auch durch Wilcoxon-Tests (BYOD: $V = 0$; $p < 0,001$; $r = 0,87$, Pool: $V = 0$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) nachgewiesen. Nach Cohen (1992) sind die jeweiligen Effektstärken groß.

Der Fachwissenszuwachs bezüglich Aufgabe 3 unterscheidet sich zwischen der BYOD-Gruppe ($M = 69,65$; $SD = 29,66$; $Mdn = 71,43$) und der Pool-Gruppe ($M = 75,55$; $SD = 25,81$; $Mdn = 85,71$) nur geringfügig. Dieser Unterschied ist nach einem Mann-Whitney-U-Test nicht signifikant, $U(N_1 = 161, N_2 = 156) = 11288$; $p = 0,114$.

Ein ungepaarter t-Test zum Gruppenvergleich bezüglich Aufgabe 3 wurde nicht durchgeführt, weil ein Levene-Test das Vorliegen von Homoskedastizität nicht bestätigt, $F(1) = 7,70$; $p = 0,006$. Aus demselben Grund wurde auf die Durchführung einer gemischten Varianzanalyse verzichtet, $F(1) = 6,06$; $p = 0,014$.

Bezüglich Aufgabe 4 – der Nennung der Bestwerte der Reichweitefaktoren – sind die Anteile korrekter Antworten im Post-Test ($M = 71,29$; $SD = 31,32$; $Mdn = 85,71$) gruppenübergreifend höher als im Prä-Test ($M = 3,33$; $SD = 8,76$; $Mdn = 0$). Dieser Unterschied ist sowohl nach einem gepaarten t-Test ($t(316) = -38,59$; $p < 0,001$; $d = 2,17$) als auch nach einem Wilcoxon-Test ($V = 6$; $p < 0,001$; $r = 0,86$) signifikant. Dasselbe gilt für die gruppenspezifischen Ergebnisse. So erzielten die Lernenden beider Gruppen im Post-Test (BYOD: $M = 68,23$; $SD = 32,38$; $Mdn = 85,71$, Pool: $M = 74,45$; $SD = 29,97$; $Mdn = 85,71$) signifikant höhere Anteile korrekter Antworten als im Prä-Test (BYOD: $M = 3,82$; $SD = 9,14$; $Mdn = 0$, Pool: $M = 2,84$; $SD = 8,34$; $Mdn = 0$). Die Signifikanz dieser Unterschiede wurde sowohl durch gepaarte t-Tests (BYOD: $t(160) = -25,24$; $p < 0,001$; $d = 1,99$, Pool: $t(155) = -29,89$; $p < 0,001$; $d = 2,39$) als auch durch Wilcoxon-Tests (BYOD: $V = 4$; $p < 0,001$; $r =$

0,86, Pool: $V = 0$; $p < 0,001$; $r = 0,87$) nachgewiesen. Nach Cohen (1992) sind die jeweiligen Effektstärken groß.

Der Fachwissenszuwachs bezüglich Aufgabe 4 unterscheidet sich zwischen der BYOD-Gruppe ($M = 64,42$; $SD = 32,38$; $Mdn = 71,43$) und der Pool-Gruppe ($M = 71,61$; $SD = 29,92$; $Mdn = 85,71$) sowohl nach einem ungepaarten t-Test ($t(315) = -2,05$; $p = 0,041$; $d = 0,23$) als auch nach einem Mann-Whitney-U-Test ($U(N_1 = 161, N_2 = 156) = 10910$; $p = 0,041$; $r = -0,12$) signifikant. Die jeweiligen Effektstärken sind nach Cohen (1988) klein.

Das Vorliegen von Homoskedastizität wird für die Datenpools, die für die Durchführung des ungepaarten t-Tests relevant sind, durch einen Levene-Test bestätigt: $F(1) = 2,93$; $p = 0,088$. Hingegen wird das Vorliegen von Homoskedastizität für die Datenpools, die für die Durchführung einer gemischten Varianzanalyse relevant sind, nicht bestätigt, $F(1) = 6,06$; $p = 0,014$. Auf die Durchführung einer gemischten Varianzanalyse wird folglich verzichtet.

5.3.3 Aufgabenübergreifende Analyse von merkmalspezifischen Teilstichproben

Die Auswahl von Teilstichproben zur Analyse von merkmalspezifischen Gruppen- und Messzeitpunkt-Effekten erfolgte auf Basis von denjenigen Hintergrundmerkmalen, deren Erhebungsinstrumente hinreichende interne Konsistenzen (dargestellt in Kapitel 3.3.1) aufweisen. Als Bemessungsgrundlage für die Zuweisung zu den Teilstichproben wurden in Anlehnung an Laumann et al. (2024) sowohl die binären Geschlechtsausprägungen als auch hohe und niedrige Ausprägungen in weiteren Hintergrundmerkmalen festgelegt. Im ersten Fall wurden ausschließlich weibliche und ausschließlich männliche Lernende untersucht. Im zweiten Fall wurden ausschließlich die Lernenden mit einer Ausprägung kleiner oder gleich dem unteren Quartil und ausschließlich die Lernenden mit einer Ausprägung größer oder gleich dem oberen Quartil untersucht. Die betrachteten Hintergrundmerkmale, die zugehörigen Ausprägungen für die Zuweisung zu den Teilstichproben und die Anzahl der Lernenden in den jeweiligen Teilstichproben sind in Tabelle 5.1 zusammengefasst.

Die Teilstichproben wurden anhand von gemischten Varianzanalysen analysiert. Zu diesem Zweck wurde das Vorliegen von Homoskedastizität anhand von Levene-Tests und das Vorliegen der Homogenität der Kovarianzen anhand von

Hintergrundvariable x	Ausprägung	Anzahl der Lernenden
Geschlecht	weiblich	151
	männlich	126
chemiebezogenes Fachinteresse	$x \leq 2$	103
	$x \geq 3$	180
chemiebezogener Fachwert	$x \leq 2,8$	85
	$x \geq 4,0$	83
Intensivnutzung	$x \leq 0,00$	79
	$x \geq 0,3333333$	86
Kognitive Fähigkeiten	$x \leq 22$	69
	$x \geq 26$	80
Nutzungsdauer	$x \leq 13,25$	71
	$x \geq 30,00$	76
chemiebezogene Selbstwirksamkeit	$x \leq 3,00$	80
	$x \geq 4,285714$	87
Stabilität	$x \leq 1,25$	115
	$x \geq 2,0$	105
Technikaffinität	$x \leq 2,8$	92
	$x \geq 4,0$	72
Verpassungsangst	$x \leq 1,7$	78
	$x \geq 2,6$	85
Vorwissen	$x \leq 37,5$	95
	$x \geq 87,5$	128
Inhaltliches Workshopinteresse	$x \leq 2,5$	104
	$x \geq 3,0$	122

Tabelle 5.1: Spezifizierung der Teilstichproben zur Identifikation von merkmalspezifischen Gruppen-und Messzeitpunkt-Effekten

Box-Tests im Vorhinein geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in Tabelle 5.2 dargestellt. In den Teilstichproben der Lernenden mit hohem inhaltlichen Workshopinteresse und der Lernenden mit hohem chemiebezogenen Selbstwirksamkeitskonzept ist die Voraussetzung der Homoskedastizität verletzt. Diese Teilstichproben wurden folglich von der Analyse ausgeschlossen.

Die Ergebnisse der Analyse sind in den Tabellen 5.3 und 5.4 zusammengefasst. In allen der betrachteten Teilstichproben wurde ein signifikanter Haupteffekt des Messzeitpunkts, jedoch kein Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit oder ein Interaktionseffekt identifiziert. Die jeweiligen Effekte des Messzeitpunkts sind nach Cohen (1988) groß.

Hintergrundvariable x	Ausprägung	Levene-Test	Box-Test
Geschlecht	weiblich	$F(1) = 0,14; p = 0,708$	$p = 0,913$
	männlich	$F(1) = 2,92; p = 0,089$	$p = 0,423$
chemiebezogenes Fachinteresse	gering	$F(1) = 0,51; p = 0,478$	$p = 0,674$
	hoch	$F(1) = 1,68; p = 0,196$	$p = 0,625$
chemiebezogener Fachwert	gering	$F(1) = 0,08; p = 0,773$	$p = 0,965$
	hoch	$F(1) = 3,62; p = 0,059$	$p = 0,415$
Intensivnutzung	gering	$F(1) = 0,00; p = 0,979$	$p = 0,999$
	hoch	$F(1) = 2,57; p = 0,111$	$p = 0,515$
Kognitive Fähigkeiten	gering	$F(1) = 1,81; p = 0,181$	$p = 0,457$
	hoch	$F(1) = 0,00; p = 0,979$	$p = 0,954$
Nutzungsdauer	gering	$F(1) = 0,68; p = 0,410$	$p = 0,789$
	hoch	$F(1) = 0,01; p = 0,919$	$p = 0,948$
chemiebezogene Selbstwirksamkeit	gering	$F(1) = 1,45; p = 0,230$	$p = 0,556$
	hoch	$F(1) = 5,39; p = 0,021$	$p = 0,376$
Stabilität	gering	$F(1) = 0,16; p = 0,688$	$p = 0,854$
	hoch	$F(1) = 0,02; p = 0,886$	$p = 0,947$
Technikaffinität	gering	$F(1) = 0,83; p = 0,265$	$p = 0,703$
	hoch	$F(1) = 1,29; p = 0,133$	$p = 0,539$
Verpassungsangst	gering	$F(1) = 2,95; p = 0,088$	$p = 0,464$
	hoch	$F(1) = 1,33; p = 0,250$	$p = 0,620$
Vorwissen	gering	$F(1) = 2,26; p = 0,136$	$p = 0,502$
	hoch	$F(1) = 0,31; p = 0,583$	$p = 0,898$
Inhaltliches Workshopinteresse	gering	$F(1) = 0,00; p = 0,980$	$p = 0,946$
	hoch	$F(1) = 7,24; p = 0,008$	$p = 0,276$

Tabelle 5.2: Prüfung der Homoskedastizität und der Homogenität der Kovarianzen in merkmalspezifischen Teilstichproben. In den Teilstichproben der Lernenden mit hohem chemiebezogenen Selbstwirksamkeitskonzept und hohem inhaltlichen Workshopinteresse liegt keine Homoskedastizität vor. In den übrigen Teilstichproben wurde sowohl das Vorliegen der Homoskedastizität als auch der Homogenität der Kovarianzen bestätigt.

Teilstichprobe	Effekt	F	p	η^2	Teilstichprobe	Effekt	F	p	η^2
Mädchen	MZ	1195,34	0,000	0,78	Jungen	MZ	1062,91	0,000	0,783
	G	0,00	0,973	0,00		G	0,065	0,800	0,00
	I	0,02	0,898	0,00		I	1,07	0,302	0,00
Geringes chemiebezogenes Fachinteresse	MZ	878,55	0,000	0,80	Hohes chemiebezogenes Fachinteresse	MZ	1467,72	0,000	0,78
	G	0,01	0,918	0,00		G	0,02	0,881	0,00
	I	0,00	0,954	0,00		I	1,01	0,316	0,00
Geringer chemiebezogener Fachwert	MZ	627,79	0,000	0,78	Hoher chemiebezogener Fachwert	MZ	720,75	0,000	0,78
	G	1,03	0,314	0,01		G	1,52	0,221	0,01
	I	0,04	0,851	0,00		I	1,35	0,249	0,01
Geringe Intensivnutzung	MZ	637,52	0,000	0,80	Hohe Intensivnutzung	MZ	903,04	0,000	0,81
	G	2,01	0,160	0,01		G	0,40	0,529	0,00
	I	0,33	0,565	0,00		I	1,62	0,207	0,01
Geringe kognitive Fähigkeiten	MZ	425,10	0,000	0,73	Hohe kognitive Fähigkeiten	MZ	780,47	0,000	0,81
	G	0,00	0,999	0,00		G	0,37	0,546	0,00
	I	0,46	0,502	0,00		I	0,47	0,501	0,00
Geringe Nutzungsdauer	MZ	445,29	0,000	0,74	Hohe Nutzungsdauer	MZ	608,82	0,000	0,76
	G	1,06	0,307	0,01		G	1,58	0,212	0,01
	I	0,52	0,475	0,00		I	0,01	0,940	0,00

Tabelle 5.3: Identifikation von Messzeitpunkt-, Gruppen- und Interaktionseffekten in merkmalspezifischen Teilstichproben (Teil I). Die gemischten Varianzanalysen der Gesamtergebnisse des Fachtests zeigen in verschiedenen Teilstichproben signifikante Effekte des Messzeitpunkts (MZ), jedoch keine signifikanten Gruppen- (G) oder Interaktionseffekte (I).

Teilstichprobe	Effekt	F	p	η^2	Teilstichprobe	Effekt	F	p	η^2
Geringe chemiebezogene Selbstwirksamkeit	MZ	428,40	0,000	0,71	Hohe chemiebezogene Selbstwirksamkeit	MZ			
	G	0,98	0,324	0,01		G			
	I	0,82	0,368	0,00		I			
Geringe Stabilität	MZ	799,20	0,000	0,75	Hohe Stabilität	MZ	715,81	0,000	0,76
	G	0,20	0,654	0,00		G	0,00	0,999	0,00
	I	0,07	0,788	0,00		I	0,24	0,623	0,00
Geringe Technikaffinität	MZ	630,31	0,000	0,749	Hohe Technikaffinität	MZ	786,22	0,000	0,82
	G	0,79	0,376	0,01		G	0,07	0,788	0,00
	I	0,74	0,393	0,00		I	0,72	0,399	0,00
Geringe Verpassungsangst	MZ	552,91	0,000	0,77	Hohe Verpassungsangst	MZ	773,40	0,000	0,81
	G	1,46	0,230	0,01		G	0,14	0,705	0,00
	I	1,27	0,263	0,01		I	0,04	0,850	0,00
Geringes Vorwissen	MZ	448,05	0,000	0,68	Hohes Vorwissen	MZ	1539,40	0,000	0,85
	G	3,29	0,073	0,02		G	0,73	0,394	0,00
	I	2,89	0,093	0,01		I	0,12	0,725	0,00
Geringes inhaltliches Workshopinteresse	MZ	681,97	0,000	0,75	Hohes inhaltliches Workshopinteresse	MZ			
	G	0,09	0,769	0,00		G			
	I	0,42	0,516	0,00		I			

Tabelle 5.4: Identifikation von Messzeitpunkt-, Gruppen- und Interaktionseffekten in merkmalspezifischen Teilstichproben (Teil II). Die gemischten Varianzanalysen der Gesamtergebnisse des Fachtests zeigen in verschiedenen Teilstichproben signifikante Effekte des Messzeitpunkts (MZ), jedoch keine signifikanten Gruppen- (G) oder Interaktionseffekte (I).

5.3.4 Post-hoc-Analyse

Um zu prüfen, ob das Ausbleiben signifikanter Ergebnisse bei der Gegenüberstellung von BYOD und Pool auf eine unzureichende Teststärke zurückzuführen sein könnte, wurde eine Teststärkenanalyse für die Anwendung von ungepaarten t-Tests und gemischten Varianzanalysen durchgeführt. Dabei wurde zwischen den Analysen auf Basis der gesamten Stichprobe und den Analysen auf Basis merkmalspezifischer Teilstichproben unterschieden. Diese Unterscheidung ist mit den Unterschieden in der Anzahl der berücksichtigten Lernenden zu begründen.

Die Ergebnisse der Teststärkeanalyse sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 dargestellt. Nach Döring und Bortz (2016) gilt eine Teststärke von mindestens 80% als ausreichend. Damit sind die Teststärken für die Identifikation mittlerer und großer Effekte mittels gepaarter t-Tests in Analysen auf Basis der Gesamtstichprobe als ausreichend anzusehen. Dies gilt jedoch nicht für die Identifikation kleiner Effekte. Im Gegensatz dazu erweisen sich die Teststärken auch für die Identifikation kleiner Effekte mittels gemischter Varianzanalysen auf Basis der Gesamtstichprobe als ausreichend. Ebenso sind die Teststärken für die Identifikation kleiner, mittlerer und großer Effekte durch gemischte Varianzanalysen sowohl auf Basis der kleinsten als auch auf Basis der größten merkmalspezifischen Teilstichprobe als ausreichend anzusehen.

5.4 Diskussion

Für die Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen BYOD und Pool ist die Lernleistung aus didaktischer Sicht von zentraler Bedeutung. Sollte die eine Bereitstellungsform gegenüber der anderen einen deutlichen Mehrwert für die Lernleistung bringen, so wäre dies ein gewichtiges Argument zur Implementierung der einen Bereitstellungsform gegenüber der anderen. Da vergangene Studien (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Schellenberg, 2018; Song & Ku, 2016) die Lernleistung jedoch lediglich im Kontext einer einzelnen Bereitstellungsform untersuchten, liegen bislang keine hinreichenden wissenschaftlichen Erkenntnisse vor, die eine Empfehlung aus didaktischer Sicht stützen.

Das Forschungsverbundprojekt *smart for science* verfolgt das Ziel, die betreffende Forschungslücke zu schließen. Es vergleicht die Verwendung von persön-

Analyseverfahren	Teststärke für kleinen Effekt $d = 0,2$	Teststärke für mittleren Effekt $d = 0,5$	Teststärke für großen Effekt $d = 0,8$
Ungepaarter t-Test	0,43	0,99	1,00
Gemischte Varianzanalyse	1,00	1,00	1,00

Tabelle 5.5: Teststärken zur Anwendung von ungepaarten t-Tests und gemischten Varianzanalysen auf Basis der gesamten Stichprobe. Die Kategorisierung der Effektstärken entspricht den Angaben von Cohen (1988). Die Berechnung der Teststärken zur Anwendung von ungepaarten t-Tests erfolgte unter Angabe der gruppenspezifischen Stichprobengrößen $n_1 = 161$ und $n_2 = 156$ sowie des Signifikanzniveaus $\alpha = 0,05$. Die Berechnung der Teststärken zur Anwendung von gemischten Varianzanalysen erfolgte unter Angabe der Größe der gruppenübergreifenden Stichprobe $n = 317$, des Signifikanzniveaus $\alpha = 0,05$, der Gruppenanzahl $N_G = 2$ und der Anzahl der Messungen $N_M = 2$. Die Standardwerte über die Korrelation für Messwiederholungen $rmcorr = 0,5$ und die nicht-Sphärizitätskorrektur $\epsilon = 1$ wurden unverändert übernommen.

Teilstichproben- größe	Teststärke für kleinen Effekt $d = 0,2$	Teststärke für mittleren Effekt $d = 0,5$	Teststärke für großen Effekt $d = 0,8$
Klein: 69 Lernende	0,91	1,00	1,00
Groß: 180 Lernende	1,00	1,00	1,00

Tabelle 5.6: Teststärken zur Anwendung von gemischten Varianzanalysen auf Basis der kleinsten und größten merkmalspezifischen Teilstichprobe. Die Kategorisierung der Effektstärken entspricht den Angaben von Cohen (1988). Die Berechnung der Teststärken erfolgte unter Angabe des Signifikanzniveaus $\alpha = 0,05$, der Gruppenanzahl $N_G = 2$ und der Anzahl der Messungen $N_M = 2$. Die Standardwerte über die Korrelation für Messwiederholungen $rmcorr = 0,5$ und die nicht-Sphärizitätskorrektur $\epsilon = 1$ wurden unverändert übernommen.

lichen und temporär ausgehändigten Smartphones im Kontext von digital gestützten Workshops innerhalb eines quasi-experimentellen Designs. Die Lernleistung wurde darin anhand von Prä- und Post-Fachwissenstests gemessen.

Studie I ist eine Analyse der Fachwissenstestergebnisse aus den chemiebezogenen *smart for science* Workshops. Bei der Identifikation potenzieller Unterschiede zwischen BYOD und Pool betrachtet sie die Gesamtergebnisse unter Einbeziehung der gesamten Stichprobe, die aufgabenspezifischen Ergebnisse unter Einbeziehung der gesamten Stichprobe und die Gesamtergebnisse unter Einbeziehung merkmalspezifischer Teilstichproben.

Die Analyse der Gesamtergebnisse unter Einbeziehung der gesamten Stichprobe (s. Kapitel 5.3.1) zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen der Prä- und Posttests. Ein solcher Unterschied ist in beiden Experimentalgruppen mit jeweils großen Effektstärken zu verzeichnen. Somit besteht sowohl in der BYOD- als auch in der Pool-Gruppe ein hoher Fachwissenszuwachs. Der Vergleich dieser Fachwissenszuwächse zeigt keine signifikanten Unterschiede.

Der hohe Fachwissenszuwachs in der BYOD-Gruppe belegt die Lernwirksamkeit dieser Bereitstellungsform. Er steht im Einklang mit Studien (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Schellenberg, 2018; Song & Ku, 2016), die eine Verbesserung der Lernleistung infolge der Einführung von BYOD-Programmen in den regulären Schulunterricht berichten. Die Tatsache, dass sich der Fachwissenszuwachs in der Pool-Gruppe als gleichrangig erwies, eröffnet jedoch eine neue Perspektive auf diese Studien. So gibt das vorliegende Ergebnis Anlass dazu, nicht die Bereitstellungsform, sondern die digitale Stützung des Unterrichts als entscheidende Stellschraube in den Vordergrund zu stellen. Ansätze einer solchen Bewertung sind in manchen der zitierten Fachartikel bereits zu erkennen. So betonen Adhikari et al. (2017), dass der Erfolg des von ihnen untersuchten BYOD-Programms in der Weiterentwicklung der Lernprozesse liegt. Ebenso führen Song und Ku (2016) den von ihnen diagnostizierten Lernerfolg auf die zielführende Nutzung von digitalen Anwendungen zurück.

Dass die Bereitstellungsform keine Auswirkung auf die Gesamtergebnisse der gesamten Stichprobe hatte, steht außerdem im Einklang mit den Ergebnissen der anderen Projektmitglieder von *smart for science*. So fanden sich auch im Fach Mathematik (s. Krause, 2022; Krause et al., 2022; Krause et al., 2024) und im Fach Physik (s. Laumann et al., 2024) keine entsprechenden Unterschiede

zwischen BYOD und Pool. Die jeweiligen Studien gleichen der hier diskutierten Studie in ihrem grundlegenden Design, erfassen die Lernleistung jedoch im Kontext von Workshops mit anderen inhaltlichen und methodischen Schwerpunkten. Das vorliegende Ergebnis ist daher für andersartige Lerntätigkeiten aussagekräftig und ergänzt somit die bestehende Studienlage.

In ähnlicher Weise trägt auch die aufgabenspezifische Analyse (s. Kapitel 5.3.2) zur bestehenden Studienlage bei. Die Unterschiede in der Gestaltung mancher Fachtestaufgaben und in deren Verknüpfung mit dem zugrunde liegenden Workshop stellen Unterschiede im Erhebungskontext dar. Die aufgabenspezifische Analyse bietet somit eine Möglichkeit dazu, Unterschiede in den Auswirkungen von BYOD und Pool kontextspezifisch offenzulegen.

Tatsächlich wurde hierbei – im Gegensatz zur Analyse der Gesamtergebnisse – ein signifikanter Unterschied zwischen BYOD und Pool identifiziert. Dies gilt allerdings ausschließlich für Aufgabe 4. Hinsichtlich dieser Aufgabe erwies sich die Bereitstellungsform Pool als vorteilhaft. Der betreffende Unterschied ist jedoch nur durch eine geringe Effektstärke gekennzeichnet. Signifikante Fachwissenszuwächse mit großen Effektstärken waren auch bei dieser Aufgabe in beiden Experimentalgruppen zu verzeichnen.

Hinsichtlich der übrigen Aufgaben konnten – im Einklang mit der Analyse der Gesamtergebnisse – keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereitstellungsformen identifiziert werden. Bei diesen Aufgaben liegen ebenfalls signifikante Fachwissenszuwächse mit hohen Effektstärken in beiden Experimentalgruppen vor. Somit erweisen sich BYOD und Pool in den betreffenden Erhebungskontexten als gleichermaßen lernförderlich.

Der schwache Sondereffekt hinsichtlich Aufgabe 4 ist nicht eindeutig interpretierbar. Da Aufgabe 4 dasselbe Format hat wie Aufgabe 3 und außerdem mit denselben Workshopphasen verknüpft ist, besteht ein uneinheitliches Ergebnisbild, das keinen klaren Indikator für die Annahme darstellt, dass die Bereitstellungsform eine kontextspezifische Auswirkung auf den Fachwissenszuwachs hat. So bleibt die Frage, ob sich die Bereitstellungsform unter besonderen Bedingungen auf die Lernleistung auswirkt, weiterhin offen.

Die Frage, ob sich die Bereitstellungsform in merkmalspezifischen Teilpopulationen auf die Lernleistung auswirkt, kann hingegen beantwortet werden. Sie wurde anhand der Analyse der Gesamtergebnisse in merkmalspezifischen Teilstichproben (s. Kapitel 5.3.3) untersucht. Bei den betrachteten Lernenden –

Jungen, Mädchen, Lernende mit niedrigem inhaltlichen Workshopinteresse, Lernende mit niedrigem chemiebezogenen Selbstwirksamkeitskonzept sowie Lernende mit hoher und mit niedriger Ausprägung im Fachinteresse, dem Fachwert, dem inhaltlichen Workshopinteresse, der Smartphone-Intensivnutzung, den kognitiven Fähigkeiten, der Nutzungsdauer, der Stabilität, der Technikaffinität, der Verpassungsangst und dem Vorwissen – wurden signifikante Fachwissenszuwächse in beiden Bereitstellungsgruppen identifiziert. Weitere Teilstichproben wurden aufgrund der Verletzung notwendiger Analysebedingungen in den betreffenden Datenverteilungen nicht untersucht.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit denen aus dem Fach Physik. So analysierten Laumann et al. (2024) die Lernleistung von Jungen und von Mädchen sowie von Lernenden mit geringen und hohen Ausprägungen im sozioökonomischen Status, der Verpassungsangst und der problematischen Smartphone-Nutzung und konnten in keiner der Teilstichproben bereitstellungsspezifische Auswirkungen identifizieren.

Die übereinstimmenden Ergebnisse in den Fächern Chemie und Physik stehen im Kontrast zu denen im Fach Mathematik. So geht aus der Studie von Krause et al. (2024) hervor, dass die Ausprägung der problematischen Smartphone-Nutzung entscheidend für die Auswirkung der Bereitstellungsform ist. Gemäß den Autoren profitieren Lernende mit hoher problematischer Smartphone-Nutzung hinsichtlich ihrer Lernleistung von der Bereitstellungsform Pool. Die Diskrepanz der projektinternen Ergebnisse bietet Anlass dazu, Lernende mit stark ausgeprägter Affinität zu ihrem Smartphone in zukünftigen Studien genauer zu betrachten.

Dass die nicht-signifikanten Ergebnisse in Studie I für das Zutreffen der Nullhypothese sprechen und nicht auf eine unzureichende Stichprobengröße zurückzuführen sind, erscheint in Anbetracht der Ergebnisse der Post-hoc-Analyse (s. Kapitel 5.3.4) wahrscheinlich. So kann von Studie I abgeleitet werden, dass das Lernen mit persönlichen Endgeräten ebenso erfolgreich sein kann wie das Lernen mit temporär ausgehändigten Endgeräten.

Das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Effekte lässt sich mit der von Krause et al. (2024) und Laumann et al. (2024) geäußerten Vermutung erklären, dass BYOD und Pool sich in bereitstellungsspezifischer Weise – sowohl förderlich als auch hinderlich – auf lernrelevante Merkmale auswirken und dass sich die jeweiligen Auswirkungen nivellieren. Vor dem Hintergrund bestehender Stu-

dienergebnisse scheint diese Vermutung auch zutreffend zu sein. So könnten die lernförderlichen Auswirkungen von BYOD auf affektive Merkmale (s. Adhikari et al., 2017; Kiger & Herro, 2015; Schellenberg, 2018) die potenziellen lernhinderlichen Auswirkungen auf das Distraktionsverhalten (s. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015) kompensieren. Diese eingängige Erklärung basiert jedoch nur teilweise auf wissenschaftlichen Erkenntnissen. So ist die Annahme, dass Lernende im Kontext der Bereitstellungsform BYOD andere Verhaltensmuster zeigen als im Kontext der Bereitstellungsform Pool, bislang nicht hinreichend belegt. Ebenso wenig wurden bereitstellungsspezifische Unterschiede in der Ausprägung affektiver Merkmale hinreichend untersucht. Die sich hieraus ergebenden Desiderate werden im Rahmen von *smart for science* weiter adressiert. Die vorliegende Arbeit trägt insbesondere durch die Gegenüberstellung von Distraktionsmustern (s. Studie II in Kapitel 6) dazu bei, mögliche Erklärungsansätze für das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Effekte auf die Lernleistung genauer zu untersuchen.

Die Schlussfolgerung aus Studie I unterliegt allerdings Limitationen, die sich aus der Datenerhebung ergeben. So beschränkt sich die Untersuchung des Forschungsverbundes auf Lernende der achten und neunten Jahrgangsstufe an Gymnasien und Gesamtschulen im Regierungsbezirk Münster und auf die Verwendung von Smartphones. Die Aussagekraft der hier diskutierten Ergebnisse ist – entsprechend den Überlegungen der anderen Projektmitglieder von *smart for science* (s. Krause et al., 2024; Laumann et al., 2024) – somit auf Lernende mit entsprechendem demografischen und sozioökonomischen Hintergrund und auf den exemplarisch verwendeten Gerätetyp zu beschränken. In Anbetracht der Unterschiede in der Geräteausstattung von Lernenden unterschiedlicher Altersgruppen (s. Feierabend et al., 2020, 2022) und von Lernenden mit unterschiedlich starkem finanziellen Familienhintergrund (s. Adhikari et al., 2017; Nelson, 2012; Starkey et al., 2017) sowie der Unterschiede im Nutzungsumfang unterschiedlicher Endgeräte (s. Dixon & Tierney, 2012) erscheint es möglich, dass die Änderung dieser Kontextmerkmale zu anderen Ergebnissen führt.

Weitere Limitationen ergeben sich aus den kontextspezifischen Festlegungen der Datenerhebung. Diese fand im Rahmen eines einmaligen Workshops statt, der als Gegensatz zum regulären Unterricht aufgefasst werden kann. Dass einige Lernende tatsächlich einen Unterschied zwischen dem Workshop und dem regulären Unterricht machten, geht aus ihren Aussagen in undokumentierten

Pausengesprächen hervor. Darin begründeten sie ihre Teilnahme am Workshop damit, dass sie sich auf diese Weise dem Unterricht entziehen könnten. Auch wenn diese Aussagen lediglich als anekdotische Evidenz gewertet werden können, werfen sie doch die Frage auf, ob BYOD und Pool auch dann gleichermaßen lernwirksam sind, wenn sie in den regulären Unterricht integriert werden. Bei einer solchen Integration könnten – so vermuten Laumann et al. (2024) – Langzeiteffekte wirken, die nicht von *smart for science* erfasst werden.

Darüber hinaus stellt die realitätsferne Abbildung der Bereitstellungsform Pool eine wesentliche Limitation für die hier diskutierte Studie dar. Aufgrund einer projektübergreifenden Entscheidung wurden alle Lernenden in der betreffenden Gruppe mit einem Smartphone ausgestattet, dessen Betriebssystem demjenigen des eigenen Smartphones entspricht. Lernende, die ein iPhone verwenden, erhielten ein iPhone und Lernende, die ein Android-Gerät verwenden, erhielten ein Android-Gerät. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieses Vorgehen nicht der Schulpraxis entspricht. Hierfür wäre sowohl der finanzielle Aufwand zum Vorhalten der Geräte als auch der organisatorische Aufwand zum Aushändigen der passenden Geräte zu groß. Es ist aber vorstellbar, dass die Vertrautheit mit dem Betriebssystem für die Lernleistung relevant ist. So könnten Bedienungsschwierigkeiten im Umgang mit einem unbekannten Betriebssystem auftreten und das Bearbeiten von Lernaufgaben hindern.

Gleichwohl verfestigen die hier diskutierten Ergebnisse die wissenschaftliche Grundlage für Entscheidungen über die Bereitstellung von digitalen Endgeräten im Schulunterricht. Sie geben Anlass dazu, in Übereinstimmung mit den anderen Projektmitgliedern von *smart for science* (s. Krause et al., 2024; Laumann et al., 2024) keine grundsätzliche Empfehlung aus didaktischer Perspektive auszusprechen. Als entscheidend für die Abwägung zwischen BYOD und Pool erscheinen dagegen die vielfältigen finanziellen (s. Bruder, 2014; Dixon & Tierney, 2012; Johnson, 2012; Nelson, 2012), sozialen (s. Parsons & Adhikari, 2016), gesundheitlichen (s. Merga, 2016) und organisatorischen (s. Burden et al., 2012; Maher & Twining, 2017; Nuholu Kibar et al., 2020) Vor- und Nachteile, die mit den jeweiligen Bereitstellungsformen verbunden sein können. Da diese im Rahmen der lokalen Ressourcen zu betrachten sind, erscheint es als zielführend, Entscheidungen über die Bereitstellung digitaler Endgeräte lokal – genauer auf Schulebene – zu verorten. Dabei sind sowohl die sozioökonomi-

schen Verhältnisse im schulischen Einzugsgebiet als auch die personellen und finanziellen Mittel der Schule als Entscheidungsgrundlage heranzuziehen.

6 Studie II: Auswirkung von BYOD und Pool auf das nicht-lernbezogene Verhalten

Studie II beinhaltet eine Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens in den Bereitstellungskontexten BYOD und Pool. Sie ergänzt somit die Studienlage zu möglichen Erklärungsansätzen für das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Auswirkungen auf die Lernleistung in Studie I (s. Kapitel 5). Teilergebnisse von Studie II – genauer die Ergebnisse der Analyse des Distraktionsverhaltens (s. Kapitel 6.3) – wurden bereits in einem Tagungsbandartikel (s. F. E. Kremer & Marohn, 2023) veröffentlicht. Ein weiterer Artikel mit entsprechenden Inhalten (genauer F. E. Kremer et al., unveröffentlichtes Manuskript) befindet sich zur Zeit in Bearbeitung.

6.1 Konkretisierung der Forschungsfragen

Studie II widmet sich dem Forschungsinteresse 2, das in Kapitel 1.3 begründet wird. Es lautet:

FI 2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Geräts im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Geräts auf das nicht-lernbezogene Verhalten im digital gestützten Unterricht aus?

Zur Entwicklung von beantwortbaren Forschungsfragen wird das Forschungsinteresse wie in Studie I (s. Kapitel 5) mit Hinblick auf die zugrunde liegende Datenerhebung konkretisiert. Diese wurde im Kontext von digital gestützten Workshops durchgeführt, die den ausschließlichen Gebrauch von Smartphones vorsehen. Die daraus resultierende Konkretisierung führt zur Formulierung von

Forschungsfrage 2. Sie ist als übergreifende Forschungsfrage von Studie II zu verstehen und lautet:

FF 2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf das nicht-lernbezogene Verhalten in einem digital gestützten Workshop aus?

Gemäß der in Kapitel 2 dargestellten Konzeptualisierung umfasst das nicht-lernbezogene Verhalten zwei Komponenten, die in unterschiedlichen Unterrichtskontexten auftreten: das Distraktionsverhalten und Leerlauf-Tätigkeiten. Sie werden hier getrennt voneinander untersucht. Die Unterfragen, die sich hieraus ergeben, lauten:

FF 2.1: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf das Distraktionsverhalten in einem digital gestützten Workshop aus?

FF 2.2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf die Leerlauf-Tätigkeiten in einem digital gestützten Workshop aus?

Die beiden Unterfragen geben keinen Hinweis darauf, hinsichtlich welcher Merkmale die jeweiligen Verhaltenskategorien analysiert werden sollen. Sie bedürfen daher einer weiteren Konkretisierung. Dazu wird der Fokus zunächst auf die Forschungsfrage 2.1 und damit auf die Distraction gelegt: Gemäß verschiedenen Studien (s. bspw. Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012) besteht ein Zusammenhang zwischen zeitlichen Bemessungsgrößen – wie etwa der Dauer der Distraction – und der Lernleistung. Somit stellen zeitliche Bemessungsgrößen ein geeignetes Analysemerkmal dar. Konkret ist hierbei der Anteil des Distraktionsverhaltens an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen bedeutsam. Da die Verwendung des Smartphones hierbei von besonderem Interesse ist, wird weiterhin zwischen der Distraction mit und ohne Smartphone unterschieden. Auf diese Weise können bereitstellungsspezifische Unterschiede in der Gewichtung der beiden Distraktionsformen offengelegt werden. Dass Unterschiede dieser Art vorliegen könnten, lässt sich deshalb vermuten, weil die Lernenden einen stärkeren persönlichen Bezug zu ihrem eigenen Gerät haben

sollten als zu einem fremden Gerät. Die hieraus folgende Forschungsfrage lautet:

FF 2.1.1: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den Anteil der Dauer der Distraction mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen eines digital gestützten Workshops aus?

Die Smartphone-Distraktion soll anschließend näher charakterisiert werden. Dies kann beispielsweise durch die Identifikation der aufgerufenen Applikationen gelingen. Sie macht deutlich, welche Handlungen bei der Distraktion an dem digitalen Endgerät durchgeführt werden. Bereitstellungsspezifische Unterschiede sind hier deshalb zu erwarten, weil eigene und fremde Geräte unterschiedliche Einstellungen – unter anderem mit Hinblick auf die vorinstallierten Applikationen – aufweisen. Diese Unterschiede könnten wiederum zu Unterschieden in den Zugriffstendenzen führen, die anhand der applikationsspezifischen Zugriffshäufigkeit identifiziert werden können. Die hieraus folgende Forschungsfrage lautet:

FF 2.1.2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf die applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Distraktion in einem digital gestützten Workshop aus?

Eine weitere Möglichkeit zur Charakterisierung des Distraktionsverhaltens liegt in der Differenzierung der verbalen, non-verbalen und gleichzeitig erfolgenden verbalen und non-verbalen Distraktion mit und ohne Smartphone-Bezug. Diese Differenzierung lässt sich durch die Studien (s. Baddeley, 1996; Penney, 1989; Wickens, 2002) motivieren, die für die Existenz unterschiedlicher kognitiver Strukturen zur Bewältigung unterschiedlicher Verarbeitungsprozesse sprechen. Folgt man dieser Modellierung, lässt sich vermuten, dass die Distraktion nur dann lernbeeinträchtigend wirkt, wenn sie diejenigen Strukturen beansprucht, die auch für die Lernaktivitäten benötigt werden. Bereitstellungsspezifische Unterschiede könnten sich hier aufgrund der potenziellen Unterschiede in den Zugriffstendenzen zeigen. So könnte die Verwendung von sozialen Medien – die im Umgang mit persönlichen Endgeräten wahrscheinlicher scheint

als im Umgang mit fremden Geräten – dazu anregen, gleichzeitig über die aufgerufenen Inhalte zu sprechen. Die hieraus folgende Fragestellung lautet:

FF 2.1.3: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den Anteil der Dauer der verbalen und non-verbalen Distraction mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion aus?

Um kontextspezifische Unterschiede zwischen den Bereitstellungsformen analysieren zu können, soll der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen auch aufgeschlüsselt nach den darin vorgesehenen Lernaktivitäten identifiziert werden. Begründen lässt sich dies mit den Studien (s. Bunce et al., 2010; Godwin et al., 2013), die Unterschiede im Auftreten von Distraction in Abhängigkeit von der Unterrichtsgestaltung identifizieren. Da BYOD- und Pool-Geräte in unterschiedlichem Maße für den Einsatz im Unterricht optimiert sind, ist zu vermuten, dass sich bereitstellungsspezifische Muster in den gestaltungsspezifischen Unterschieden – etwa mit Hinblick auf ihre digitale Stützung – zeigen. Die hieraus folgende Fragestellung lautet:

FF 2.1.4: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den Anteil der Dauer der Distraction mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der nach Lernaktivitäten kategorisierten inhaltlichen Arbeitsphasen eines digital gestützten Workshops aus?

Darüber hinaus soll das Auftreten von Distraction im zeitlichen Verlauf des Workshops in den Blick genommen werden. Bereitstellungsspezifische Unterschiede könnten sich hier beispielsweise durch Gewöhnungseffekte ergeben, die bei der Verwendung fremder Geräte eine größere Rolle spielen sollten als bei der Verwendung von eigenen Geräten. Die hieraus folgende Forschungsfrage lautet:

FF 2.1.5: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf das Auftreten von Distraction im zeitlichen Verlauf eines digital gestützten Workshops aus?

Die Konkretisierung von Unterfrage 2.1 wird ergänzt durch die Konkretisierung von Unterfrage 2.2. Dazu wird der Fokus nun auf die Leerlauf-Tätigkeiten gelegt: Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist deren Ausmaß in Zusammenhang mit digitalen Endgeräten relevant. Bereitstellungsspezifische Unterschiede könnten sich hier beispielsweise aufgrund der zu erwartenden Unterschiede im persönlichen Gerätebezug oder im wahrgenommenen Unterhaltungswert ergeben. Die hieraus folgende Forschungsfrage lautet:

FF 2.2.1: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf den Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen in einem digital gestützten Workshop aus?

Weitere Unterschiede zwischen den Bereitstellungsformen sind hier mit Hinblick auf die Verwendung von Applikationen zu vermuten. Diese Vermutung stützt sich – ebenso wie beim Distraktionsverhalten – auf die Unterschiede in den Einstellungen, die sich unter anderem in den vorinstallierten Applikationen zeigen. Die hieraus resultierende Fragestellung lautet:

FF 2.2.2: Auf welche Weise wirkt sich die Verwendung eines BYOD-Smartphones im Vergleich zur Verwendung eines Pool-Smartphones auf die applikations-spezifische Zugriffshäufigkeit in den Leerlauf-Phasen in einem digital gestützten Workshop aus?

6.2 Konkretisierung der angewandten Methodik

Das nicht-lernbezogene Verhalten wird im Rahmen der vergleichenden Fallanalyse nach Yin (2018) untersucht. Das Studiendesign wird grundlegend in Kapitel 4.2 beschrieben. In der hier präsentierten Umsetzung bildet das nicht-lernbezogene Verhalten das Phänomen, das in seinem Kontext – dem digital gestützten Unterricht mit eigenen oder temporär ausgehändigten Smartphones – untersucht wird. Dabei werden die Bereitstellungsformen BYOD und Pool, deren Wirksamkeit in Studie I (s. Kapitel 5) im Fokus steht, mit Hinblick auf ihre Wirkungsweise ergründet.

Anhand der Analyse werden die Merkmale betrachtet, die im Sinne der zugrunde liegenden Forschungsfragen (s. Kapitel 6.1) von Interesse sind. Zu die-

sem Zweck wird das Videomaterial von ausgewählten Lernenden analysiert. Da dieses mit Kamerabrillen aufgenommen wurde und somit das Sichtfeld der Lernenden zeigt, legt es vielfältige Distraktions- und Leerlaufhandlungen offen.

Dass lediglich das Videomaterial von einer begrenzten Anzahl an Lernenden in der Videoanalyse berücksichtigt wird, ist mit dem hohen Analyseaufwand zu begründen. Durch die gezielte Auswahl von Lernenden konnte das Volumen des zu analysierenden Materials entsprechend den verfügbaren Ressourcen reduziert werden. Darüber hinaus entspricht diese Begrenzung dem methodischen Vorgehen der vergleichenden Fallanalyse, die sich laut Yin (2018) unter anderem dadurch auszeichnet, dass viele Merkmale unter Berücksichtigung weniger Merkmalsträger untersucht werden.

Die Analyseergebnisse werden hier zunächst fallspezifisch präsentiert und diskutiert. Auf diese Weise wird die Grundlage dafür geschaffen, übergreifende Schlussfolgerungen in Anbetracht der fallspezifischen Schlussfolgerungen zu ziehen. Um deren Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wird das angewandte methodische Vorgehen hier weiter konkretisiert.

6.2.1 Auswahlschema zur Stichprobenziehung

Das Schema zur Auswahl von Lernenden für die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens benennt einerseits persönliche Merkmale, die als Bewertungsgrundlage herangezogen werden, und andererseits zulässige Ausprägungen, die als Bewertungskriterium dienen. Entsprechend der zugrunde liegenden Zielsetzung, das nicht-lernbezogene Verhalten zu analysieren, werden hierbei die persönlichen Merkmale berücksichtigt, die einen Zusammenhang mit dem nicht-lernbezogenen Verhalten aufweisen. Zu diesen Merkmalen gehören die Verpassungsangst (s. Al-Furaih & Al-Awidi, 2021), das Interesse (s. Smallwood et al., 2009), die kognitiven Fähigkeiten (s. Robison & Unsworth, 2015; Unsworth & McMillan, 2017), die Genderzugehörigkeit (s. Godwin et al., 2016; Kay et al., 2017; Kay & Lauricella, 2011b; Tallvid et al., 2015) sowie die gewohnheitsmäßige Nutzung und Internetsucht (s. L. Chen et al., 2020).

Das Auswahlschema sollte bestenfalls alle dieser Merkmale berücksichtigen. Da ein solches Auswahlschema innerhalb des verfügbaren Datenpools jedoch so wenige Treffer erzielte, dass manche der angestrebten Analysen – etwa der Vergleich der individuellen Ausprägungen des nicht-lernbezogenen Verhaltens in-

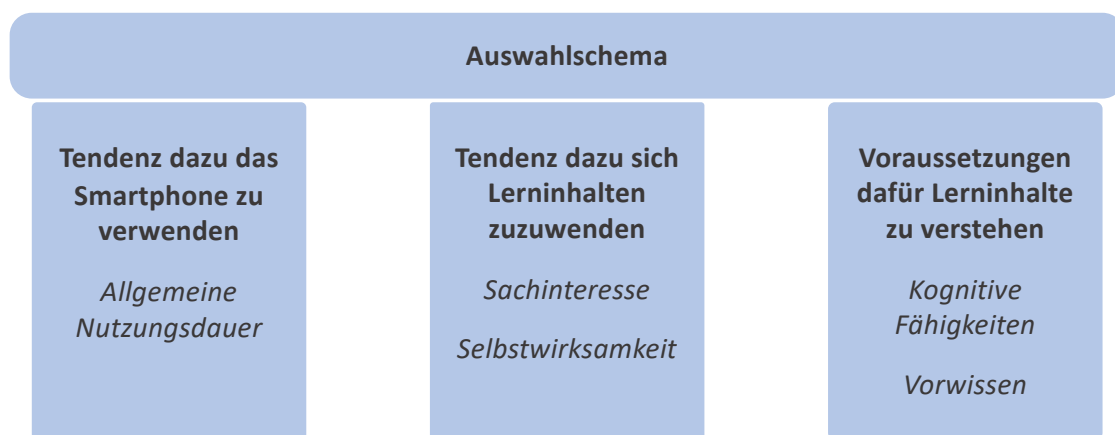


Abbildung 6.1: Schema zur Identifikation von Lernenden für die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens

nerhalb der Gruppen – nicht aussagekräftig gewesen wären, wurde stattdessen ein reduziertes Auswahlschema (s. Abb. 6.1) gewählt. Die darin betrachteten Merkmale sind die allgemeine Nutzungsdauer, das Sachinteresse, das Selbstwirksamkeitskonzept, die kognitiven Fähigkeiten und das Vorwissen der Lernenden. Diese Merkmale lassen sich drei Kategorien zuordnen: der Tendenz zur nicht-lernbezogenen Verwendung von Smartphones, der Tendenz zur Beschäftigung mit Lerninhalten und den Voraussetzungen zum Verstehen von Lerninhalten. Diese Kategorien spiegeln sich auch in den Merkmalen wider, die nachweislich in Zusammenhang mit dem Auftreten von nicht-lernbezogenem Verhalten stehen.

Um Lernende zu finden, die möglichst repräsentativ für die betrachtete Kohorte sind, wurde ferner die Festlegung getroffen, dass die zulässigen Ausprägungen der herangezogenen Merkmale einen Bereich um den jeweiligen Mittelwert abdecken. Diese Festlegung wurde weiter konkretisiert in der Formulierung, dass die Merkmalsausprägungen x nicht um mehr als eine Standardabweichung SD vom Mittelwert M des betrachteten Merkmals abweichen dürfen. Dieses Auswahlkriterium definiert den Rahmen, innerhalb dessen sich die zu betrachtenden Lernenden einander ähneln. In mathematischer Schreibweise lautet es:

$$M - SD \leq x \leq M + SD$$

Das Auswahlschema wurde anhand eines Analyse-Skripts umgesetzt, das als Teil der hier vorgestellten Promotionsleistung eigenverantwortlich in der Programmiersprache *R* geschrieben wurde. Die darin bezifferten Mittelwerte und Standardabweichungen wurden auf Basis der Stichprobe von Studie I (s. Kapitel 5.2.1) berechnet. Das Analyseskript wurde auf alle Lernenden angewandt, deren Workshopdurchführung manualkonform war und deren Videomaterial alle inhaltlichen Arbeitsphasen abbildet und in geeigneter Qualität vorhanden ist.

6.2.2 Stichprobe

Anhand des in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Auswahlschemas wurden achtzehn Lernende für die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens identifiziert. Davon gehören acht Lernende der BYOD-Gruppe und zehn Lernende der Pool-Gruppe an. Sie werden hier mit Decknamen versehen, die zur weiteren Anonymisierung beitragen und eine einfache Lesart gewährleisten sollen. Die Decknamen sind zusammengesetzt aus einem L, das für Lernende steht, dem Anfangsbuchstaben der experimentellen Gruppe, also B für BYOD oder P für Pool, und einer Zahl. Die Verknüpfung zwischen den Decknamen und den Codes zur Identifikation der zugehörigen Testhefte ist in der *Excel*-Datei dargestellt, die zur Berechnung der Ergebnisse genutzt wurde.

Die Ausprägungen der Hintergrundmerkmale der Lernenden sind in den Tabellen 6.1 und 6.2 dargestellt. Neben den Angaben zu den Merkmalen, die im Auswahlschema berücksichtigt wurden, finden sich darin auch Angaben zu den Merkmalen, die nicht im Auswahlschema berücksichtigt wurden, obwohl diese gemäß verschiedener Autoren (s. bspw. Al-Furaih & Al-Awidi, 2021; L. Chen et al., 2020; Godwin et al., 2016; Kay et al., 2017; Kay & Lauricella, 2011b; Tallvid et al., 2015) ebenfalls in Zusammenhang mit dem nicht-lernbezogenen Verhalten stehen. Die Übersicht zeigt, dass keines der Merkmale in der BYOD-Gruppe um mehr als eine Standardabweichung von dem jeweiligen Mittelwert abweicht. Das Auswahlkriterium ist bei allen Lernenden in dieser Gruppe also für alle der relevanten Merkmale erfüllt. Dies gilt jedoch nicht für die Pool-Gruppe, in der ausschließlich die im Auswahlschema berücksichtigten Merkmale bei allen Lernenden dem Auswahlkriterium entsprechen.

Die Tabellen beinhalten weiterhin Angaben über die maximalen Abweichungen zwischen den jeweiligen Ausprägungen der Lernenden innerhalb der Gruppen. In der BYOD-Gruppe weicht keines der Merkmale In der BYOD-Gruppe beträgt die größte maximale Abweichung 1,65 *SD*. Die kleinste maximale Abweichung beträgt hier 0,77 *SD*. In der Pool-Gruppe beträgt die größte maximale Abweichung 2,68 *SD*. Die kleinste maximale Abweichung beträgt hier 0,62 *SD*. Die Genderzugehörigkeiten sind in beiden Gruppen ausgewogen verteilt.

6.2.3 Auswahl und Anwendung des Analyseverfahrens

Das Videomaterial der ausgewählten Lernenden wird hier anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) analysiert. Diese wird grundlegend in Kapitel 4.3 beschrieben. Im Einklang mit der betreffenden Methodenbeschreibung hat die Quantifizierung in der hier vorgestellten Analyse einen hohen Stellenwert. Sie wird genauer zur Strukturierung des Datenmaterials genutzt.

Hinsichtlich der Aspekte des methodischen Vorgehens, zu denen Mayring (2022) weniger konkrete Angaben macht, wird weiterführend auf die Methodenbeschreibung von anderen Autoren zurückgegriffen. Ein Beispiel hierfür stellt die Konzeption des Codierleitfadens (einsehbar in Anhang 8.9) dar. Im Einklang mit der Methodenbeschreibung von Kuckartz und Rädiker (2022) enthält dieser sowohl Codes als auch Definitionen, Ankerbeispiele und Anwendungsregeln.

Der Codierleitfaden wurde deduktiv, in zwei aufeinanderfolgenden Schritten konzipiert. Im ersten Schritt wurden die Kategorien zur Analyse des Distraktionsverhaltens in Zusammenarbeit mit den Projektmitgliedern Maurice Krause und Malte Ubben entwickelt, in einem projektübergreifenden Codierleitfaden festgehalten und am Videomaterial der Pilotierung der Datenerhebung erprobt. Der projektübergreifende Codierleitfaden wurde im zweiten Schritt für die Anwendung auf das fachinterne Videomaterial der Chemie reduziert und durch weitere Kategorien zur Analyse von Leerlauf-Tätigkeiten ergänzt.

Der Codiervorgang, der durch den Codierleitfaden angeleitet wird, stellt einen iterativen Prozess dar (s. Abb. 6.2). Dieser beginnt mit der Codierung von Workshop-Phasen. Dies ist zum einen mit den Definitionen des Distraktionsverhaltens und der Leerlauf-Tätigkeiten (s. Kapitel 2) zu begründen, die diese in unterschiedlichen Unterrichtsphasen verorten. Zum anderen ist die Codierung

Merkmal	MW SD	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB8	Max. Unterschied zwischen den Lernenden [SD]
Allgemeine Nutzungsdauer	22,55 14,10	20	25	23	15	18	30	35	31	1,42
Inhaltliches Workshopinteresse	2,74 0,62	2,16	2,67	2,67	2,50	2,75	2,50	2,83	2,67	1,08
Chemiebezogene Selbstwirksamkeit	3,63 0,95	3,29	3,29	3,43	4,00	4,43	3,71	4,29	4,43	1,20
Kognitive Fähigkeiten	23,97 3,21	24	25	21	25	25	21	24	22	1,24
Vorwissen	62,03 32,62	62,5	87,5	87,5	75,0	87,5	87,5	75,0	87,5	0,77
Gender		d	w	m	w	w	m	m	m	
Intensivnutzung	0,21 0,20	0,33	0,22	0,22	0,00	0,25	0,22	0,33	0,22	1,65
Verpassungsangst	2,23 0,68	2,5	1,8	2,3	1,8	1,7	2,6	1,9	2,0	1,32

Tabelle 6.1: Hintergrundmerkmale der zur Videoanalyse vorgesehenen Lernenden aus der BYOD-Gruppe

Merkmal	MW	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10	Max. Unterschied zwischen den Lernenden [SD]
Allgemeine Nutzungsdauer	22,55 14,10	21	11	14	12	32	33	16	14	25	20	1,56
Inhaltliches Workshopinteresse	2,74 0,62	2,67	2,67	2,50	2,50	3,00	2,67	2,83	2,83	3,00	3,00	0,81
Chemiebezogene Selbstwirksamkeit	3,63 0,95	4,14	3,14	4,57	4,57	3,71	3,57	3,71	4,29	4,29	4,29	1,51
Kognitive Fähigkeiten	23,97 3,21	25	27	27	25	26	26	25	27	27	26	0,62
Vorwissen	62,03 32,62	75,0	87,5	62,5	87,5	50,0	87,5	87,5	62,5	87,5	87,5	1,15
Gender		w	w	w	m	w	w	w	m	m	m	
Intensivnutzung	0,21 0,20	0,22	0,44	0,00	0,00	0,11	0,22	0,33	0,11	0,00	0,00	2,20
Verpassungsangst	2,23 0,68	2,20	3,40	1,10	1,40	2,20	1,89	1,90	2,80	1,60	2,50	2,68

Tabelle 6.2: Hintergrundmerkmale der zur Videoanalyse vorgesehenen Lernenden aus der Pool-Gruppe

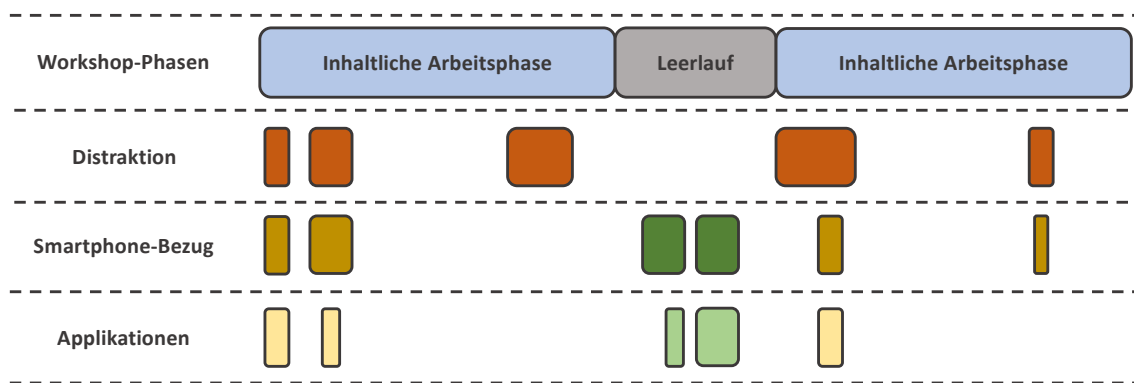


Abbildung 6.2: Visualisierung des iterativen Codiervorgangs. Die verwendeten Applikationen werden im Rahmen der Analyse spezifiziert.

der Workshop-Phasen mit den Forschungsfragen 2.1.1 und 2.1.4 (s. Kapitel 6.1) zu begründen, die es erforderlich machen, die inhaltlichen Arbeitsphasen und die Leerlauf-Phasen zu erfassen.

Die Codierung der Workshop-Phasen beruht auf Signalen im Videomaterial, die deren Beginn verdeutlichen. Demgemäß erfolgt die Codierung einer Workshop-Phase bis zum nächsten Videozeitpunkt, an dem der Beginn einer weiteren Phase wahrgenommen wird. Dass sich die Codierung nicht gleichermaßen an den Signalen für das Ende einer Phase orientiert, trägt dazu bei, Irritationen zu vermeiden, die zu unidentifizierten Stellen im Videomaterial führen könnten.

Die Codierung des Distraktionsverhaltens erfolgt ausschließlich in den Videoabschnitten, die im vorherigen Codierschritt als inhaltliche Arbeitsphasen identifiziert wurden. Dieses Vorgehen entspricht der zugrunde liegenden Definition des Distraktionsverhaltens (s. Kapitel 2.1.1), die dieses in den Kontext von Lernaktivitäten stellt. Diese Lernaktivitäten werden hier als Aktivitäten verstanden, die im Rahmen des Workshops instruiert wurden. Genauer bedeutet dies, dass Lernen hier mit der Bearbeitung der Workshop-Aufgaben gleichgesetzt wird. Dieses Verständnis spiegelt die Annahme wider, dass die Aufgaben dem Aufbau des Fachwissens dienen, das im Fachtest abgefragt wird und für die Analyse der Lernleistung in Studie I (s. Kapitel 5) relevant ist. Verhaltensweisen, die nicht der Aufgabenbearbeitung dienen, sind nach diesem Verständnis als Distraction zu kategorisieren. Dies wird in entsprechender Weise im Codierleitfaden beschrieben. Zur Beantwortung von Forschungsfrage 2.1.3 (s. Kapitel 6.1) wird

dabei weiterführend zwischen der verbalen und non-verbalen Distraction unterschieden.

Die Signale, auf denen die Codierung des Distaktionsverhaltens beruht, finden sich sowohl im Bild- als auch im Tonmaterial. So werden die nicht-aufgabenbezogenen Rezeptionshandlungen, die eine Komponente der verbalen Distraction darstellen, beispielsweise sowohl anhand des hörbaren Sprachbeitrags anderer Personen und als auch anhand der Blickrichtung der zu analysierenden Person identifiziert. Eine Videosequenz, in der nicht-aufgabenbezogene Sprachbeiträge anderer Personen zu hören sind, in der die Blickrichtung der zu analysierenden Person jedoch nicht auf diese Personen zeigt, wird hingegen nicht als Beleg für das Auftreten von verbaler Distraction beurteilt.

Ergänzt wird die Codierung des Distaktionsverhaltens durch die Codierung des Smartphone-Bezugs. Auf diese Weise werden die erforderlichen Daten zur Beantwortung der Forschungsfragen 2.1.1 und 2.1.4 (s. Kapitel 6.1) vervollständigt. Codiert werden dabei nicht nur die non-verbalen Distaktionshandlungen am Smartphone sondern auch die Gespräche über Smartphones und deren digitale Inhalte. Die Gesamtheit dieser Codierungen soll letztlich Aufschluss darüber geben, welche Rolle das Smartphone im Rahmen der bereits identifizierten Distraction spielt.

Die Codierung der non-verbalen Distraction mit Smartphone-Bezug bildet die Grundlage zur Codierung der verwendeten Applikationen. Diese Codierung stellt den letzten Schritt hinsichtlich der Codierung des Distaktionsverhaltens dar und dient der Beantwortung von Forschungsfrage 2.1.2 (s. Kapitel 6.1). Dabei wird das Aufrufen einer Website und der zugehörigen Applikation mit denselben Codes versehen. Auf diese Weise wird der Tatsache Rechnung getragen, dass viele Anwendungen nicht nur als Applikation, sondern auch als Website über den Browser abrufbar sind.

Hinsichtlich der Leerlauf-Tätigkeiten sind in Anbetracht der Forschungsfragen 2.2.1 und 2.2.2 (s. Kapitel 6.1) ausschließlich die Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug relevant. Die Codierung dieser Tätigkeiten ähnelt der Codierung des Smartphone-Bezugs hinsichtlich des Distaktionsverhaltens. Weiterhin wird auch bei der Codierung der Applikationen, die bei den non-verbalen Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug aufgerufen werden, ein Vorgehen gewählt, das der Codierung der Applikationen bei Distaktionshandlungen ähnelt.

Codesystem			
▼	Workshop-Phasen		
▼	Inhaltliche Arbeitsphasen		
	Interaktive Präsentation	■	■
	Lehrvortrag	■	■
	Unterrichtsgespräch	■	■
	Erklärvideo	■	■
	Analoge Partnerarbeit		
	Digitale Musterlösung		
	Simulation	■	■
	Digitaler Erklärtext	■	■
	Analoge Gruppenarbeit	■	■
	Analoge Einzelarbeit	■	■
▼	Nicht-inhaltliche Arbeitsphasen		
	Pause	■	■
	Organisatorische Phase	■	■
	Laboreinheit	■	■
	Erhebung	■	■
	Leerlauf	■	■
▼	Off-Task-Verhalten		
	Off-task verbal	■	■
	Off-task non-verbal	■	■
▼	Smartphone-Bezug		
	Smartphone-Bezug verbal	■	■
	Smartphone-Bezug non-verbal	■	■
▼	Applikation		
	Individualisierung	■	■
	Social Media		
	Video	■	■
	Musik		
	Kamera		
	Bildgalerie		
	Bildbearbeitung		
	Spiele		
	Workshop-Material		
	Sonstige	■	■

Abbildung 6.3: *Intercoder-Übereinstimmung hinsichtlich des Vorhandenseins von Codes*

Codesystem	Laure...	Laure...
▼ Workshop-Phasen		
▼ Inhaltliche Arbeitsphasen		
Interaktive Präsentation	1	1
Lehrvortrag	1	1
Unterrichtsgespräch	4	4
Erklärvideo	1	1
Analoge Partnerarbeit		
Digitale Musterlösung		
Simulation	2	2
Digitaler Erklärtext	1	1
Analoge Gruppenarbeit	1	1
Analoge Einzelarbeit	1	1
▼ Nicht-inhaltliche Arbeitsphasen		
Pause	1	1
Organisatorische Phase	3	3
Laboreinheit	1	1
Erhebung	5	5
Leerlauf	5	5
▼ Off-Task-Verhalten		
Off-task verbal	24	27
Off-task non-verbal	29	27
▼ Smartphone-Bezug		
Smartphone-Bezug verbal	6	6
Smartphone-Bezug non-verbal	11	11
▼ Applikation		
Individualisierung	1	1
Social Media		
Video	1	1
Musik		
Kamera		
Bildgalerie		
Bildbearbeitung		
Spiele		
Workshop-Material		
Sonstige	10	10

Abbildung 6.4: *Intercoder-Übereinstimmung hinsichtlich der Häufigkeit der vergebenen Codes*

Die Codierung erfolgte mithilfe der Analysesoftware *MAXQDA* und wurde von zwei Codiererinnen durchgeführt: Der Autorin der vorliegenden Arbeit und einer studentischen Hilfskraft. Erstere übernahm dabei die Leitung der eng gestalteten Zusammenarbeit. Diese begann mit der Einweisung der studentischen Hilfskraft in den hier beschriebenen Codierleitfaden sowie in die Handhabung der Analysesoftware. Das gemeinsame Verständnis für die Anwendung des Codierleitfadens wurde anschließend geprüft. Dabei wurde ein Video aus dem Pool der ausgewählten Lernenden von beiden Codiererinnen unabhängig voneinander codiert. Da die studentische Hilfskraft im Rahmen ihrer Analysetätigkeiten ausschließlich mit der Codierung der Distraction in den inhaltlichen Arbeitsphasen beauftragt werden sollte, limitierte sich die Codierung im Rahmen dieser Prüfung auf die betreffenden Kategorien. Die dabei generierten Analysen wurden in einer Datei zusammengeführt, um Ähnlichkeiten und Abweichungen zu bestimmen. Bezüglich des Vorhandenseins von Codes im Dokument (s. Abb. 6.3) wurden dabei ausschließlich Übereinstimmungen identifiziert. Gleiches gilt für die Häufigkeit verwendeter Codes zur Identifikation der Workshop-Phasen, des Smartphone-Bezugs und der Applikationen. Bezüglich der Häufigkeit der verwendeten Codes zur Identifikation des Distaktionsverhaltens waren hingegen geringfügige Abweichungen zu erkennen (s. Abb. 6.4). Die Intercoder-Reliabilität bezifferte sich für eine Überlappung von mindestens 80% auf $\kappa = 0,72$ und wurde somit als ausreichend bewertet.

Die Abweichungen zwischen den Analysen wurden gemeinsam von beiden Codiererinnen begutachtet und diskutiert. Damit wurde die Zielsetzung verfolgt ihr jeweiliges Verständnis für die Verwendung des Codierleitfadens anzugleichen. Danach begann die Videoanalyse in fortlaufender, enger Zusammenarbeit. Die studentische Hilfskraft codierte dabei das Videomaterial der Lernenden LB1, LB2 LP1 und LP2 mit Hinblick auf die Distraction. Dabei stand es ihr stets offen, die Autorin der vorliegenden Arbeit bei Unsicherheiten zu kontaktieren. Die Codierung der studentischen Hilfskraft wurde anschließend durch weitere Codierungen zu den Leerlauf-Tätigkeiten ergänzt. Diese Aufgabe wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit übernommen, die zusätzlich das Videomaterial der übrigen Lernenden codierte.

Die auf diese Weise generierten Wertetabellen enthalten Daten über die Dauer codierter Segmente, die Dauer von Segmenten mit Codeüberlappung und die Häufigkeit der Zuordnung unterschiedlicher Codes. Diese Daten wurden zur

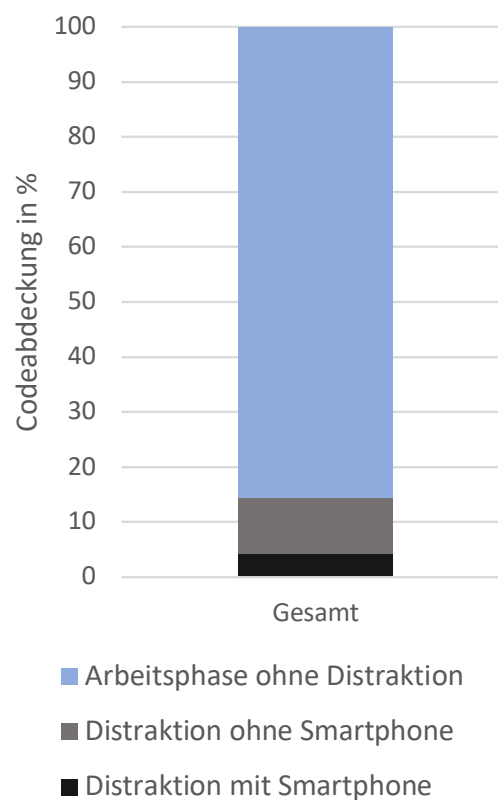


Abbildung 6.5: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)

Berechnung der Zielwerte genutzt, die in Kapitel 6.3 präsentiert werden. Diese Berechnung erfolgte mithilfe der Software *Excel*.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Fall 1: BYOD

Der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen ist in Abbildung 6.5 dargestellt. Mit 14,44% ist dieser Anteil deutlich geringer als der Anteil des aufgabenkonformen Verhaltens, der 85,55% der inhaltlichen Arbeitsphasen ausmacht. Der Anteil der Distraction ohne Smartphone-Bezug ist mit 10,32% mehr als doppelt so hoch wie der Anteil der Distraction mit Smartphone (4,12%).

Der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden ist in Abbildung 6.6 dargestellt. Die betreffenden

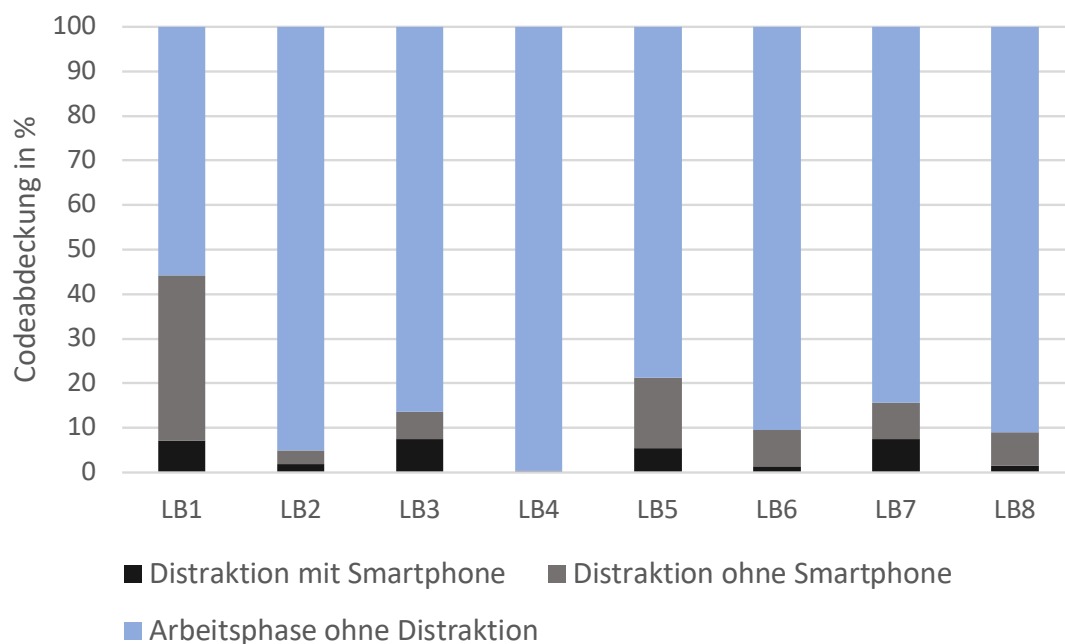


Abbildung 6.6: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)

Werte sind in Tabelle 6.3 zusammengefasst. Sie unterliegen erheblichen individuellen Unterschieden. So entspricht der Distraktionsanteil von LB1 (44,21%) einem Vielfachen des Distraktionsanteils von LB4 (0,32%).

Bei der überwiegenden Mehrheit der Lernenden hat die Distraction ohne Smartphone-Bezug einen höheren Anteil an den inhaltlichen Arbeitsphasen als die Distraction mit Smartphone-Bezug. Der Vergleich dieser Werte zeigt jedoch weitere individuelle Unterschiede. So ist der Anteil der Distraction ohne Smartphone-Bezug bei LB7 (8,16%) ähnlich dem Anteil der Distraction mit Smartphone-Bezug (7,49%). Bei LB8 hingegen ist der Anteil der Distraction ohne Smartphone-Bezug (7,49%) mehr als viermal so hoch wie der Anteil der Distraction mit Smartphone-Bezug (1,50%).

Die applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten, gemessen an der Anzahl der Codierungen in der Gruppe, ist in Abbildung 6.7 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.4 zusammengefasst. Die Verwendung von sozialen Medien (25), Spielen (24) und nicht identifizierten Applikationen (24) ist am häufigsten zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu weist die als Distraction eingestufte Verwendung von Workshop-Materialien (11) ei-

	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB8
Distraktion mit SP [%]	7,08	1,86	7,53	0,00	5,42	1,43	7,49	1,50
Distraktion ohne SP [%]	37,13	3,04	6,15	0,32	15,84	8,09	8,16	7,49
Keine Distraktion [%]	55,79	95,09	86,33	99,68	78,75	90,48	84,35	91,01

Tabelle 6.3: Anteil der Dauer der Distraktion an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)

Applikation	Zugriffshäufigkeit	Applikation	Zugriffshäufigkeit
Social Media	25	Spiele	24
Einstellungen	7	Kamera	2
Bildbearbeitung	0	Bildgalerie	5
Musik	1	Video	1
Workshop-Material	11	Unbekannt	24

Tabelle 6.4: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten (Fall 1: BYOD)

nen deutlich geringeren Wert auf. Sie überwiegt jedoch gegenüber der Verwendung von Einstellungen (7), der Bildgalerie (5) und weiteren Applikationen.

Die Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distraktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion sind in Abbildung 6.8 dargestellt. Unabhängig vom Smartphone-Bezug hat die non-verbale Distraktion mit 55,10% den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Dieser ist ungefähr doppelt so hoch wie der Anteil der verbalen (22,49%) und der Anteil der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Distraktion (22,41%). Auch im ausschließlichen Vergleich der Anteile unterschiedlicher Distraktionsformen mit Smartphone-Bezug hat die non-verbale Form mit 22,56% den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Dieser ist um ein Vielfaches höher als der entsprechende Anteil der verbalen (1,69%) und der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Form (4,28%). Im ausschließlichen Vergleich der Anteile unterschiedlicher Distraktionsformen ohne Smartphone-Bezug hat die non-verbale

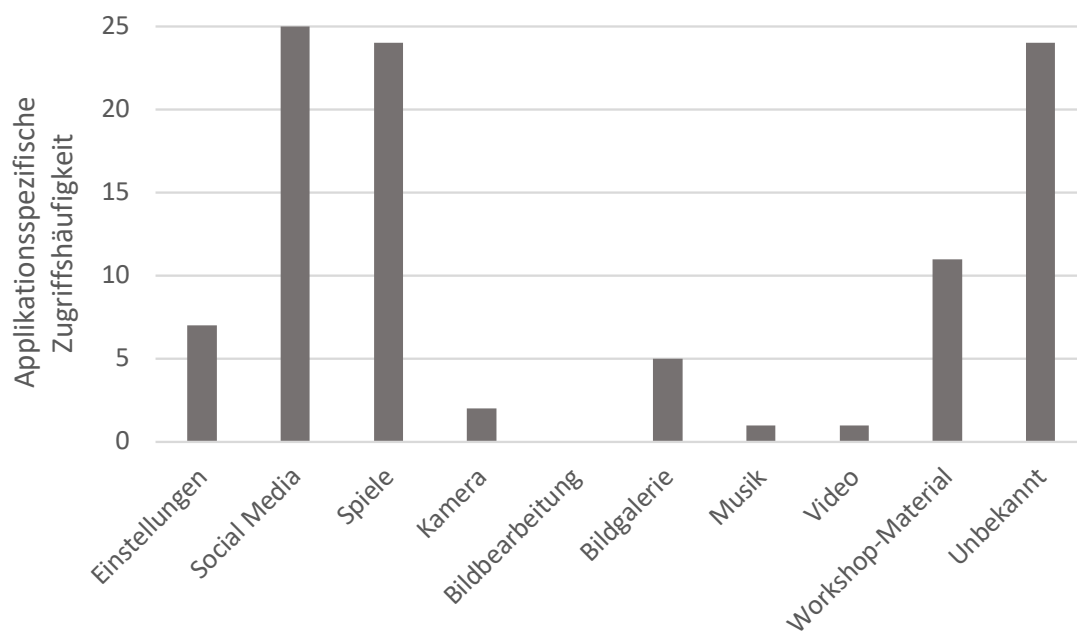


Abbildung 6.7: *Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten (Fall 1: BYOD)*

Form mit 32,54% ebenso den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. So beträgt der Anteil der entsprechenden verbalen Form 20,80%. Der Anteil der entsprechenden gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Form 18,13%.

Die Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distraktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden sind in Abbildung 6.9 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.5 zusammengefasst. Sie unterliegen deutlichen individuellen Unterschieden. Unabhängig vom Smartphone-Bezug hat die non-verbale Distraktion bei LB3, LB4, LB5, LB6 und LB7 den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Bei LB2 und LB8 ist der Anteil der verbalen Distraktion hingegen am höchsten. Bei LB1 macht wiederum die gleichzeitige verbale und non-verbale Distraktion den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion aus.

Im ausschließlichen Vergleich der Distraktionsformen mit Smartphone-Bezug weist die non-verbale Form bei den meisten Lernenden den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion auf. Hier stellt LB1 eine Ausnahme dar. Bei dieser Person hat die gleichzeitige verbale und non-verbale Distraktion mit Smartphone-Bezug einen höheren Anteil an der Gesamtdistraktion als die non-verbale Dis-

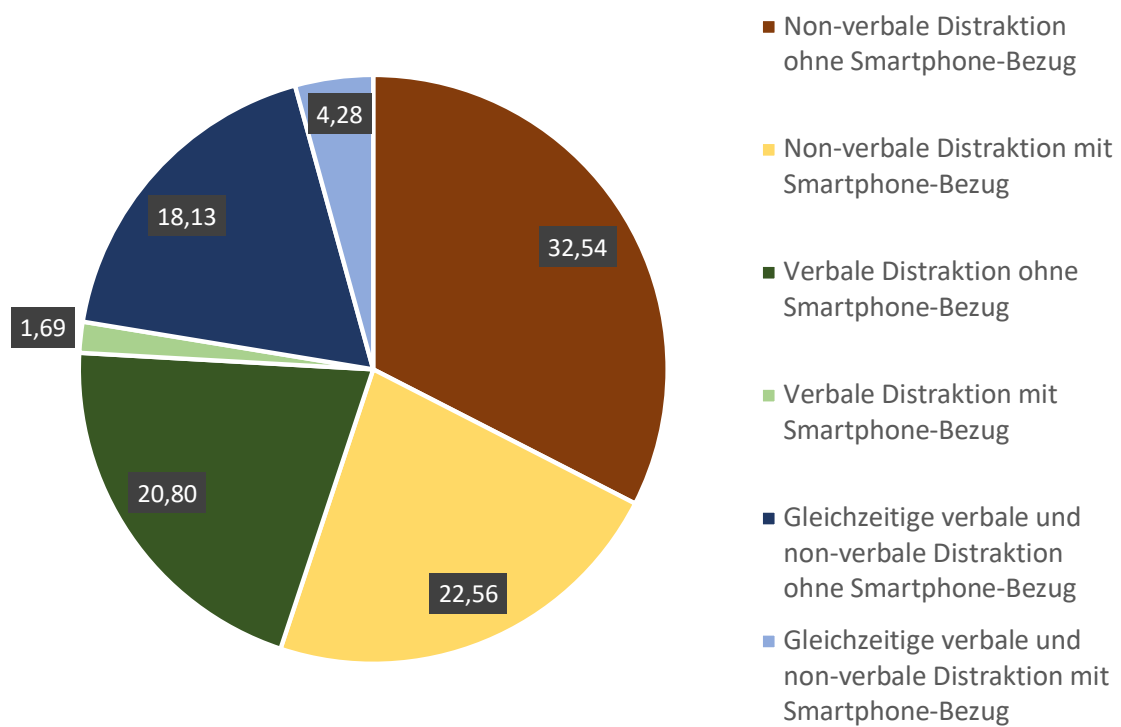


Abbildung 6.8: *Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion (Fall 1: BYOD)*

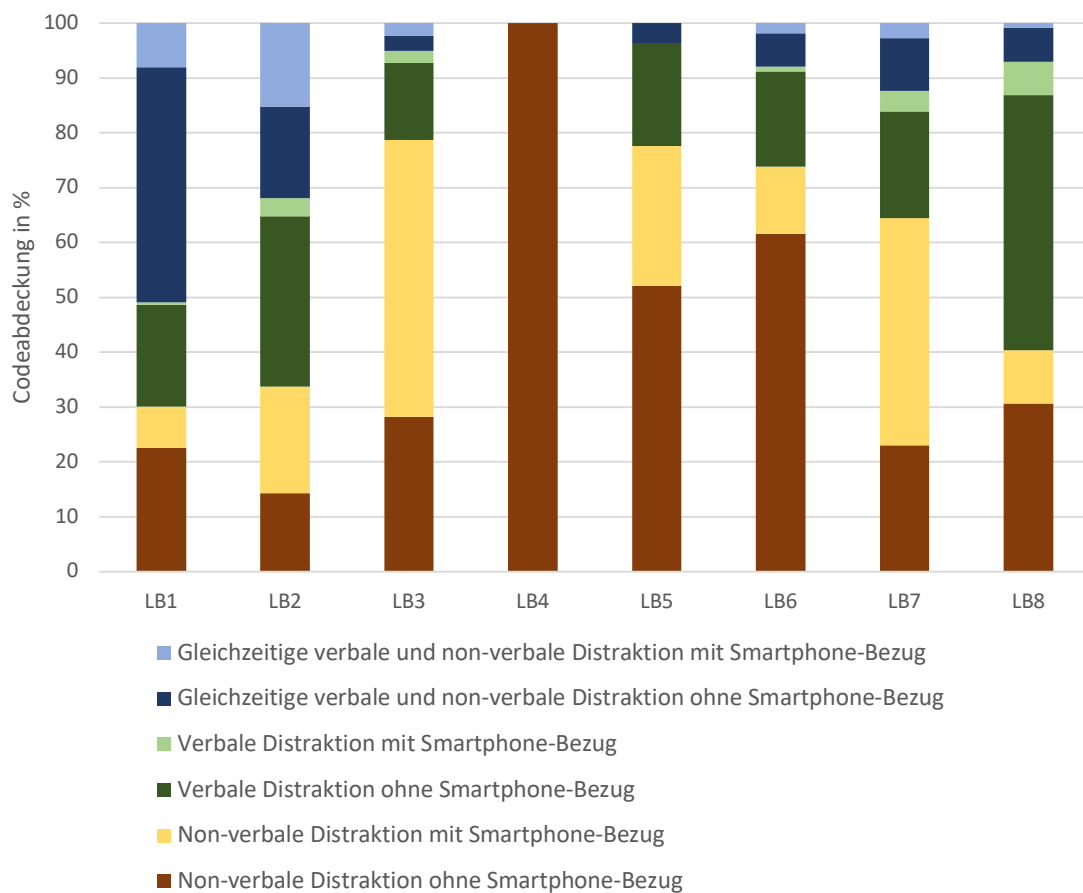


Abbildung 6.9: *Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)*

traktion mit Smartphone-Bezug. Die betreffenden Werte unterscheiden sich mit 8,10% und 7,50% allerdings nur geringfügig.

Im ausschließlichen Vergleich der Distaktionsformen ohne Smartphone-Bezug zeigen sich die gleichen Muster wie im obigen, vom Smartphone-Bezug unabhängigen Vergleich. So weist die non-verbale Form bei LB3, LB4, LB5, LB6 und LB7 den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion auf. Bei LB2 und LB8 ist die entsprechende verbale Form hingegen am höchsten ausgeprägt. Bei LB1 hat die entsprechende gleichzeitige verbale und non-verbale Form wiederum den höchsten Anteil.

Der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer einzelner inhaltlicher Arbeitsphasen ist aufgeschlüsselt nach den darin vorgesehenen Lernaktivitäten in Abbildung 6.11 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.6

	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB8
Non-verbal ohne SP [%]	22,62	14,28	28,21	100	52,08	61,61	23,04	30,64
Non-verbal mit SP [%]	7,50	19,45	50,54	0,00	25,48	12,23	41,45	9,76
Verbal ohne SP [%]	18,53	31,00	14,01	0,00	18,85	17,34	19,42	46,46
Verbal mit SP [%]	0,43	3,34	2,15	0,00	0,00	0,93	3,72	6,06
Verbal & non-verbal ohne SP [%]	42,82	16,72	2,74	0,00	3,59	6,04	9,66	6,23
Verbal & non-verbal mit SP [%]	8,10	15,20	2,35	0,00	0,00	1,86	2,72	0,84

Tabelle 6.5: *Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distraktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)*

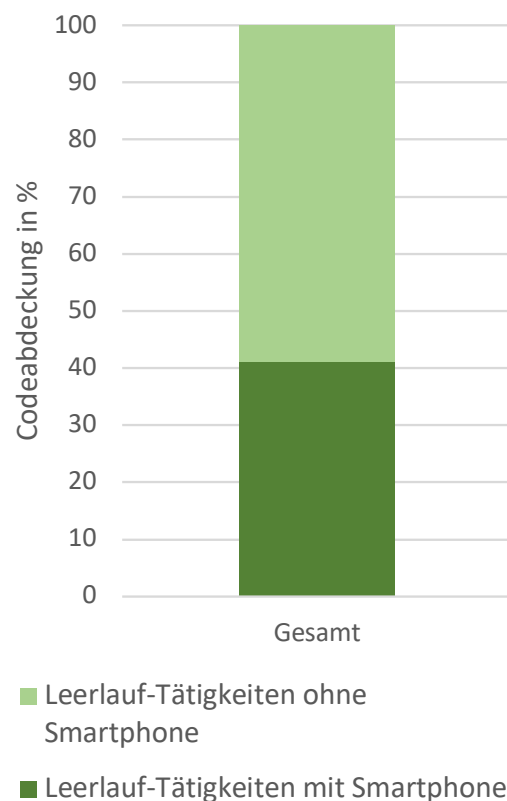


Abbildung 6.10: Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)

zusammengefasst. Zwischen den jeweiligen Lernaktivitäten unterscheiden sie sich deutlich. So ist der Distraktionsanteil bei Unterrichtsgesprächen (31,51%), beim Einsatz der digitalen Musterlösung (32,17%) und bei der analogen Einzelarbeit (27,72%) etwa viermal so hoch wie der Distraktionsanteil bei der interaktiven Präsentation (5,50%), beim Einsatz des Erklärvideos (7,60%) oder beim Einsatz der Simulation (5,91%). Bei den meisten Lernaktivitäten überwiegt der Anteil der Distraktion ohne Smartphone-Bezug den Anteil der Distraktion mit Smartphone-Bezug. Bei drei Lernaktivitäten – der digitalen Musterlösung, der analogen Einzelarbeit und der analogen Gruppenarbeit – ist dies jedoch nicht der Fall.

Die zeitliche Entwicklung der Gesamtdistraktion, die in der Abfolge der Lernaktivitäten ebenfalls erkennbar ist, zeigt einen wellenförmigen Verlauf: In den ersten drei Unterrichtssequenzen – interaktive Präsentation, Lehrvortrag und Unterrichtsgespräch – ist ein Anstieg der Gesamtdistraktion erkennbar. Dieser Anstieg wird mit dem Erklärvideo unterbrochen. Bei diesem ist die Gesamtdis-

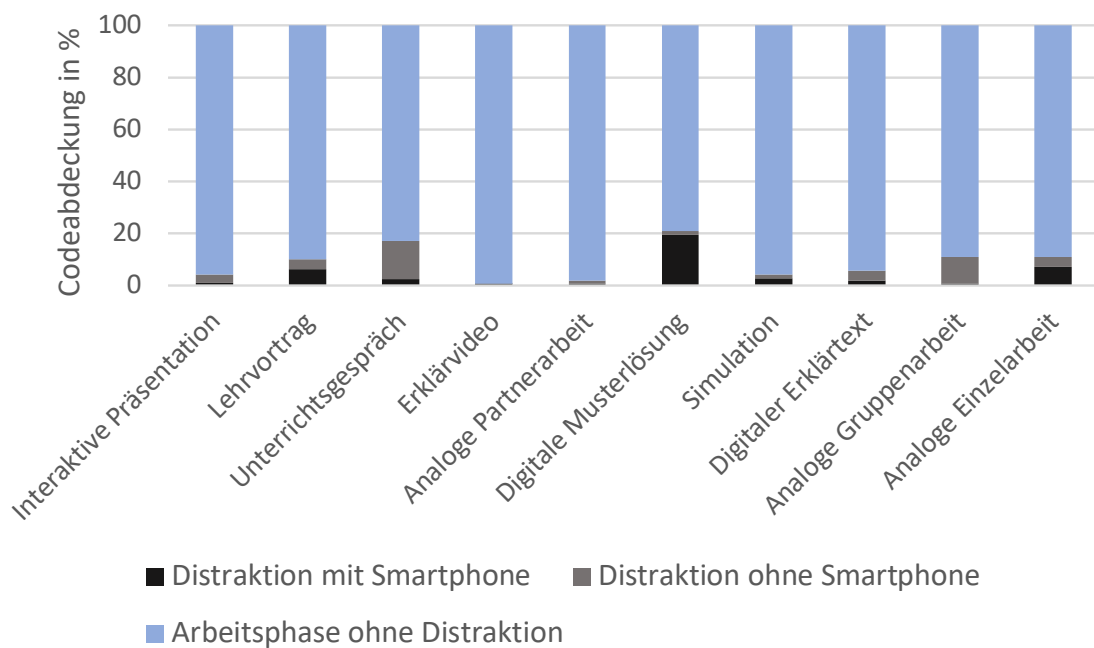


Abbildung 6.11: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer einzelner inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)

traktion deutlich geringer. Danach steigt die Gesamtdistraktion bis zur digitalen Musterlösung wieder an. Dieser Anstieg wird mit der Simulation ebenfalls wieder unterbrochen. Darauf folgen höhere Werte der Gesamtdistraktion bei der Verwendung der digitalen Erklärtexte sowie der Durchführung der analogen Gruppenarbeit und der analogen Einzelarbeit.

Eine detailliertere Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Distraktionsverhaltens findet sich in den personenbezogenen Codelines (s. Abb. 6.12 bis 6.19). Darin sind drei unterschiedliche Muster im Auftreten der Distraktion erkennbar. Bei zwei Lernenden – LB2 und LB6 – treten Distraktionsereignisse überwiegend an Phasenübergängen auf. Bei drei weiteren Lernenden – LB1, LB5 und LB8 – treten Distraktionsereignisse an beliebigen Zeitpunkten der inhaltlichen Arbeitsphasen auf. Dies gilt sowohl für die Arbeitsphasen zu Beginn als auch für die Arbeitsphasen am Ende des Workshops. Zwei weitere Lernende – LB3 und LB7 – scheinen die hier beschriebenen Muster zu kombinieren. In den ersten Arbeitsphasen zeigen sie Distraktionsereignisse vorwiegend an Phasenübergängen. Im Verlauf des Workshops treten bei ihnen zunehmend zusätzliche Distraktionsereignisse innerhalb der inhaltlichen Arbeitsphasen auf. Bei einer Person – LB4

	Distraktion mit SP [%]	Distraktion ohne SP [%]	Keine Distraktion [%]
Interaktive Präsentation	1,89	3,61	94,50
Lehrvortrag	2,92	17,66	79,42
Unterrichtsgespräch	0,81	30,70	68,49
Erklärvideo	2,43	5,17	92,40
Analoge Partnerarbeit	3,38	15,90	80,72
Digitale Musterlösung	20,91	11,26	67,83
Simulation	1,76	4,15	94,10
Digitaler Erklärtext	5,54	16,79	77,68
Analoge Gruppenarbeit	9,90	8,83	81,27
Analoge Einzelarbeit	16,29	11,43	72,27

Tabelle 6.6: Anteil der Dauer der Distraktion an der Dauer einzelner inhaltlicher Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)

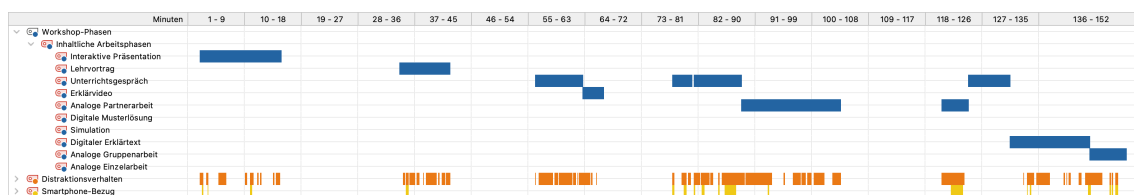


Abbildung 6.12: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB1

– treten so wenige Distraktionsereignisse auf, dass kein Muster im zeitlichen Verlauf erkennbar ist.

Der Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen ist in Abbildung 6.10 dargestellt. Mit 40,98% ist dieser Anteil geringer als der Anteil der Tätigkeiten ohne Smartphone-Bezug (59,02%). Der prozentuale Unterschied zwischen den beiden Werten ist jedoch gering.

Die Anteile der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen der einzelnen Lernenden sind in Abbildung 6.20 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.7 zusammengefasst. Mit Ausnahme von LB1 sind Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug bei allen Lernenden zu verzeichnen. Ihr Anteil an den Leerlauf-Phasen variiert jedoch stark. So haben

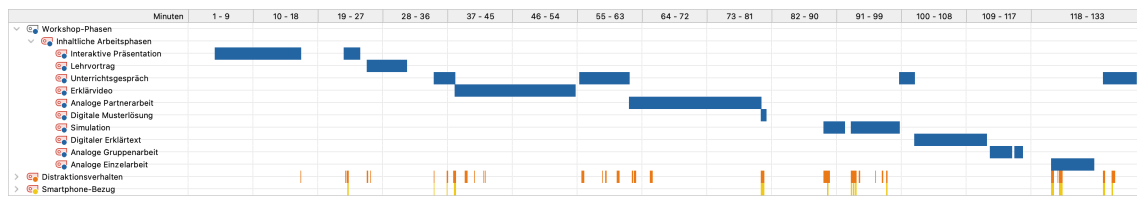


Abbildung 6.13: *Distraktionenereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB2*

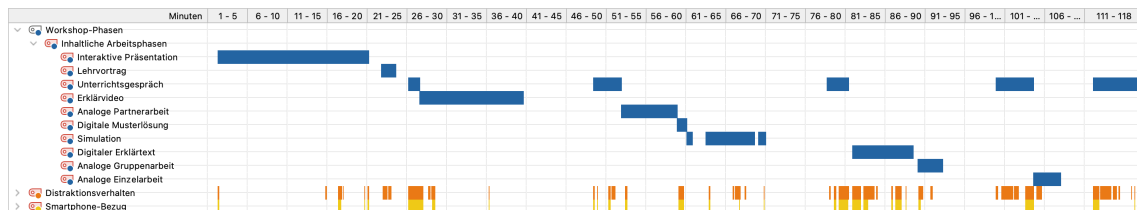


Abbildung 6.14: *Distraktionenereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB3*

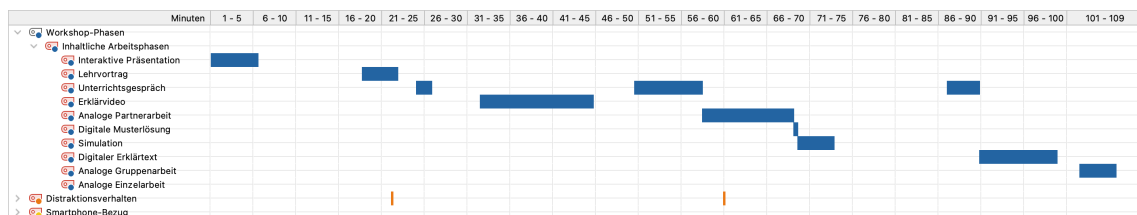


Abbildung 6.15: *Distraktionenereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB4*

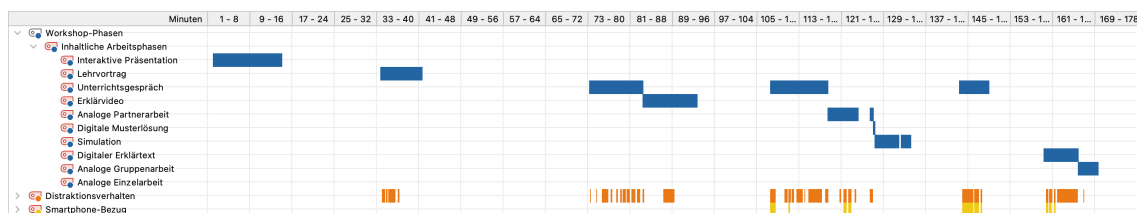


Abbildung 6.16: *Distraktionenereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB5*

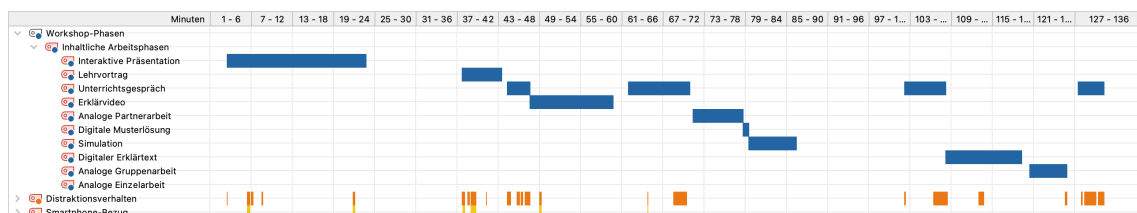


Abbildung 6.17: *Distraktionenereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB6*

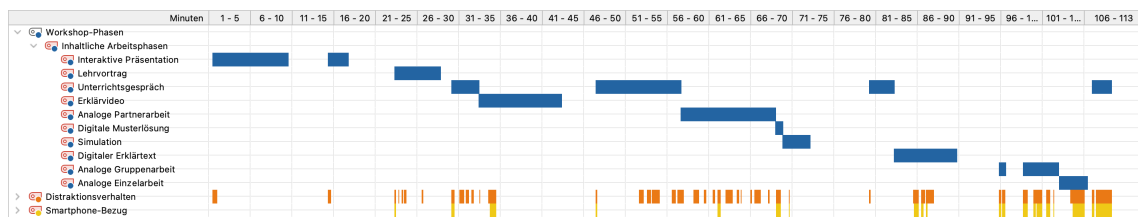


Abbildung 6.18: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB7

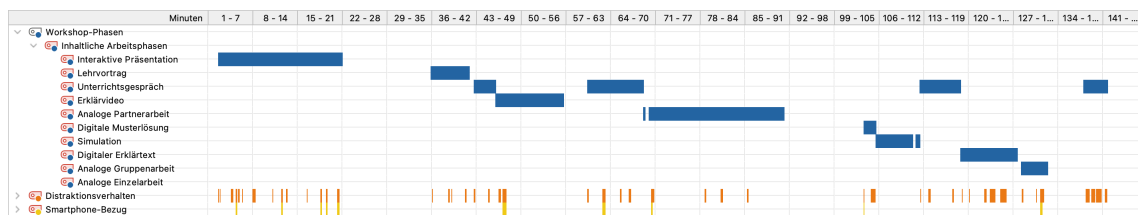


Abbildung 6.19: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB8

nur 5,43% der Leerlauf-Tätigkeiten von LB8 einen Smartphone-Bezug, während 87,16% der Leerlauf-Tätigkeiten von LB2 einen solchen Bezug aufweisen.

Die applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen ist in Abbildung 6.21 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.8 zusammengefasst. Hier zeigen sich ähnliche Präferenzen wie beim Distraktionsverhalten. So ist die Verwendung von sozialen Medien (14), Spielen (12) und nicht identifizierten Applikationen (16) auch in den Leerlauf-Phasen am häufigsten zu verzeichnen. Darauf folgt die Verwendung von Einstellungen (7), Workshop-Materialien (5) und Videos (1).

	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	LB7	LB8
Tätigkeiten mit SP [%]	0,00	87,16	55,20	6,24	54,55	15,17	65,78	5,43
Tätigkeiten ohne SP [%]	100,00	12,84	44,80	93,76	45,45	82,83	34,22	94,57

Tabelle 6.7: Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 1: BYOD)

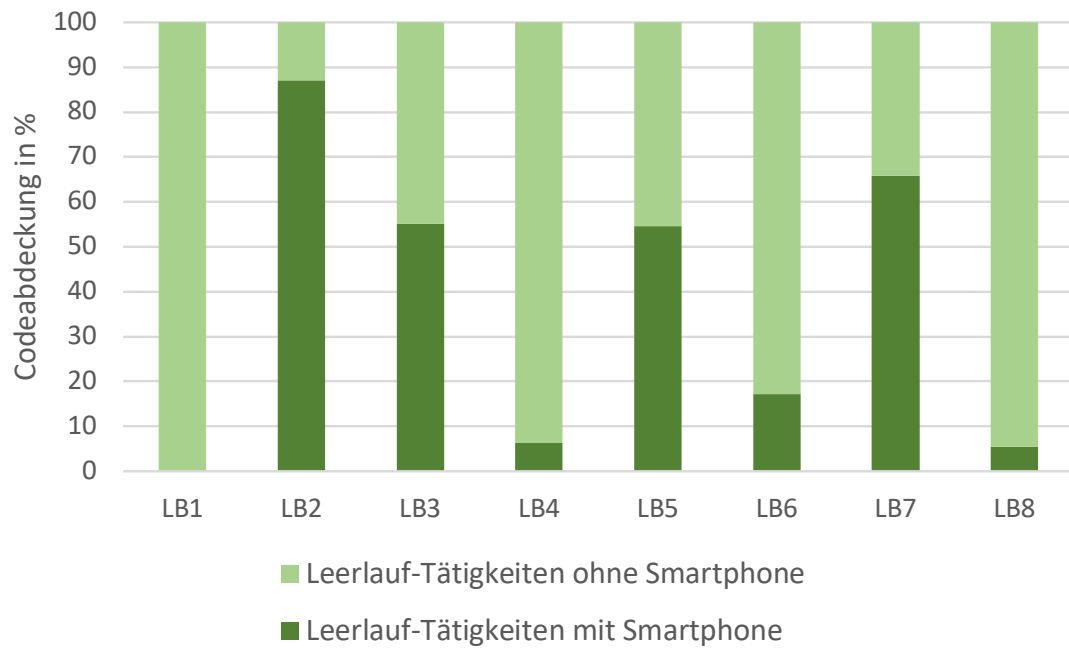


Abbildung 6.20: Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 1: BYOD)

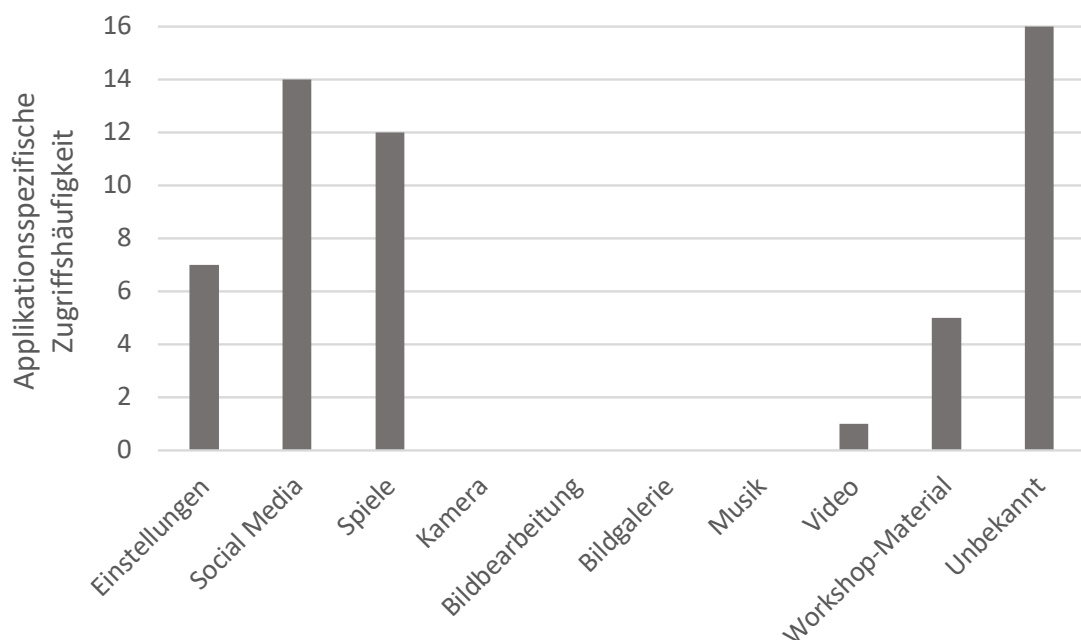


Abbildung 6.21: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)

Applikation	Zugriffshäufigkeit		Applikation	Zugriffshäufigkeit
Social Media	14		Spiele	12
Einstellungen	7		Kamera	0
Bildbearbeitung	0		Bildgalerie	0
Musik	0		Video	1
Workshop-Material	5		Unbekannt	16

Tabelle 6.8: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)

6.3.2 Fall 2: Pool

Der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen ist in Abbildung 6.22 dargestellt. Mit 6,06% ist dieser Anteil erheblich geringer als der Anteil des aufgabenkonformen Verhaltens, der 93,94% der inhaltlichen Arbeitsphasen ausmacht. Die Distraction mit Smartphone-Bezug ist mit 2,43% geringer als die Distraction ohne Smartphone-Bezug (3,63%).

Der Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden ist in Abbildung 6.23 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.9 zusammengefasst. Sie unterliegen deutlichen individuellen Unterschieden. So entspricht der Distraktionsanteil von LP4 (16,00%) einem Vielfachen des Distraktionsanteils von LP5 (0,66%).

Bei der überwiegenden Mehrheit der Lernenden nimmt die Distraction ohne Smartphone-Bezug einen höheren Anteil an den inhaltlichen Arbeitsphasen ein als die Distraction mit Smartphone-Bezug. Der Vergleich dieser Werte zeigt jedoch weitere individuelle Unterschiede. So ähnelt der Anteil der Distraction ohne Smartphone-Bezug bei LP7 (2,95%) dem Anteil der Distraction mit Smartphone-Bezug (2,67%). Bei LP10 ist der Anteil der Distraction ohne Smartphone-Bezug (10,14%) hingegen um ein Vielfaches höher als der Anteil der Distraction mit Smartphone-Bezug (0,39%).

Die applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten, gemessen an der Anzahl der Codierungen in der Gruppe, ist in Abbildung 6.24 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.10 zusammengefasst. Die Verwendung von nicht identifizierbaren Applikationen (29) ist am häufigsten zu verzeichnen. Die Verwendung von Einstellungen (8), sozialen Medien (8),

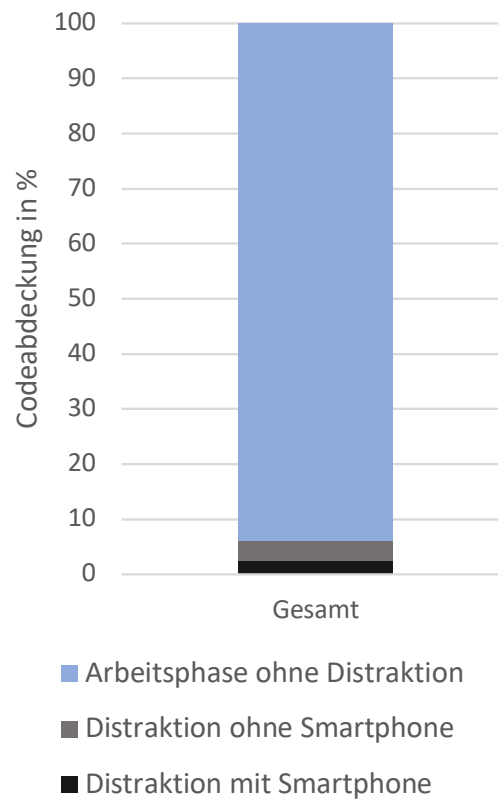


Abbildung 6.22: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)

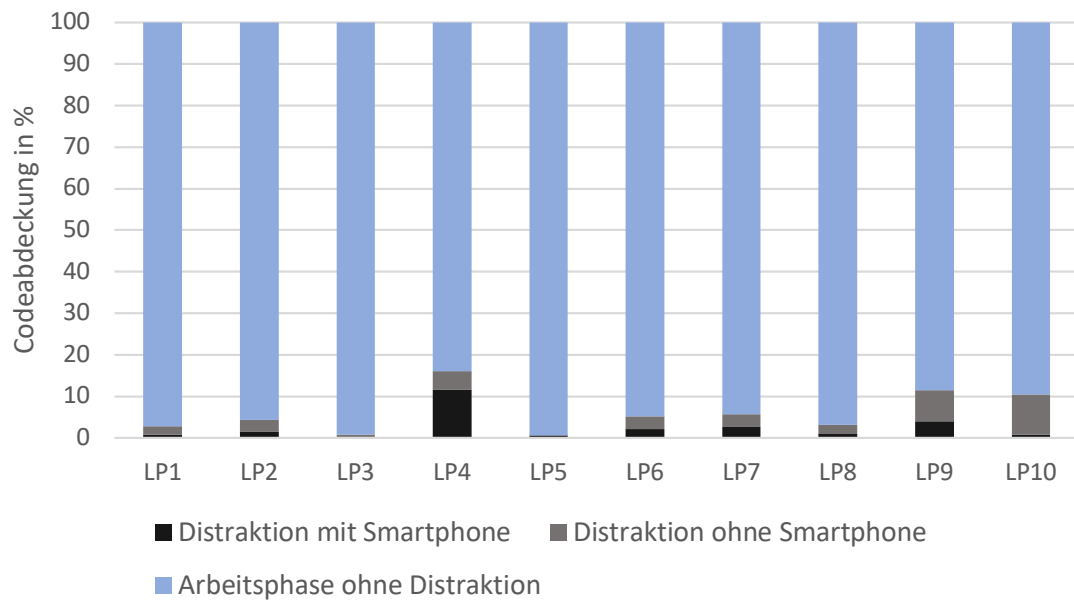


Abbildung 6.23: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)

	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10
Distraction mit SP [%]	0,33	1,87	0,00	11,59	0,53	2,16	2,67	0,91	4,01	0,39
Distraction ohne SP [%]	2,47	2,47	0,75	4,41	0,13	3,03	2,95	2,26	7,49	10,14
Keine Distraction [%]	97,20	95,66	99,25	84,00	99,33	94,81	94,38	96,83	88,48	89,47

Tabelle 6.9: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)

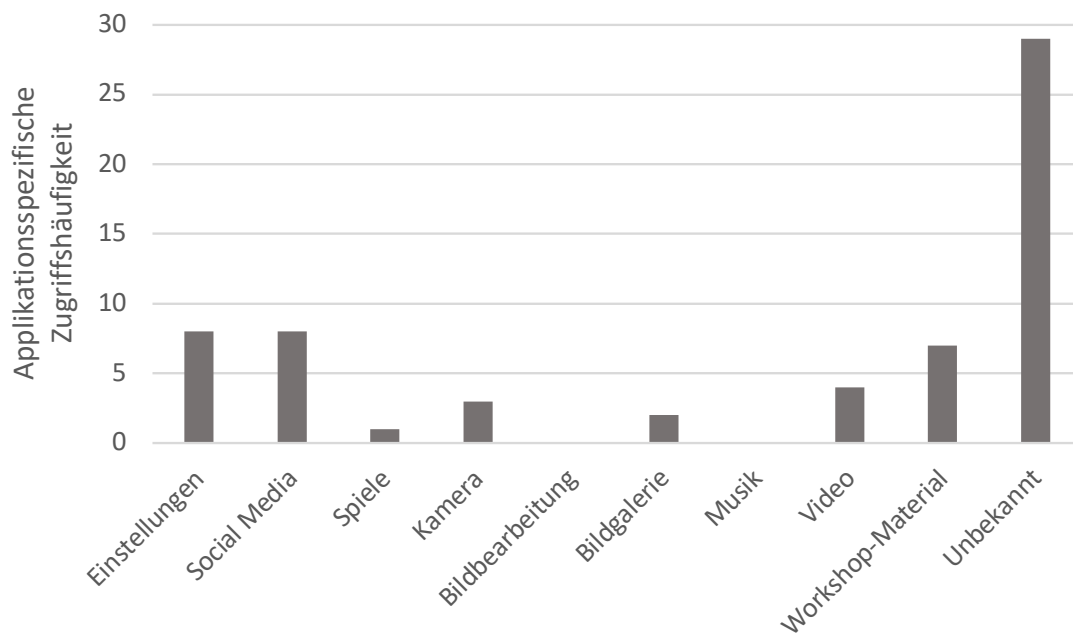


Abbildung 6.24: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten (Fall 2: Pool)

Workshop-Materialien (7) und weiteren Applikationen weist dagegen deutlich geringere Werte auf.

Die Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distraktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion sind in Abbildung 6.25 dargestellt. Unabhängig vom Smartphone-Bezug hat die non-verbale Distraktion mit 76,93% den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Dieser beträgt ein Vielfaches des Anteils der verbalen (12,4%) und des Anteils der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Distraktion (10,86%). Auch im aus-

Applikation	Zugriffshäufigkeit		Applikation	Zugriffshäufigkeit
Social Media	8		Spiele	1
Einstellungen	8		Kamera	3
Bildbearbeitung	0		Bildgalerie	2
Musik	0		Video	4
Workshop-Material	7		Unbekannt	29

Tabelle 6.10: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distraktionsverhalten (Fall 2: Pool)

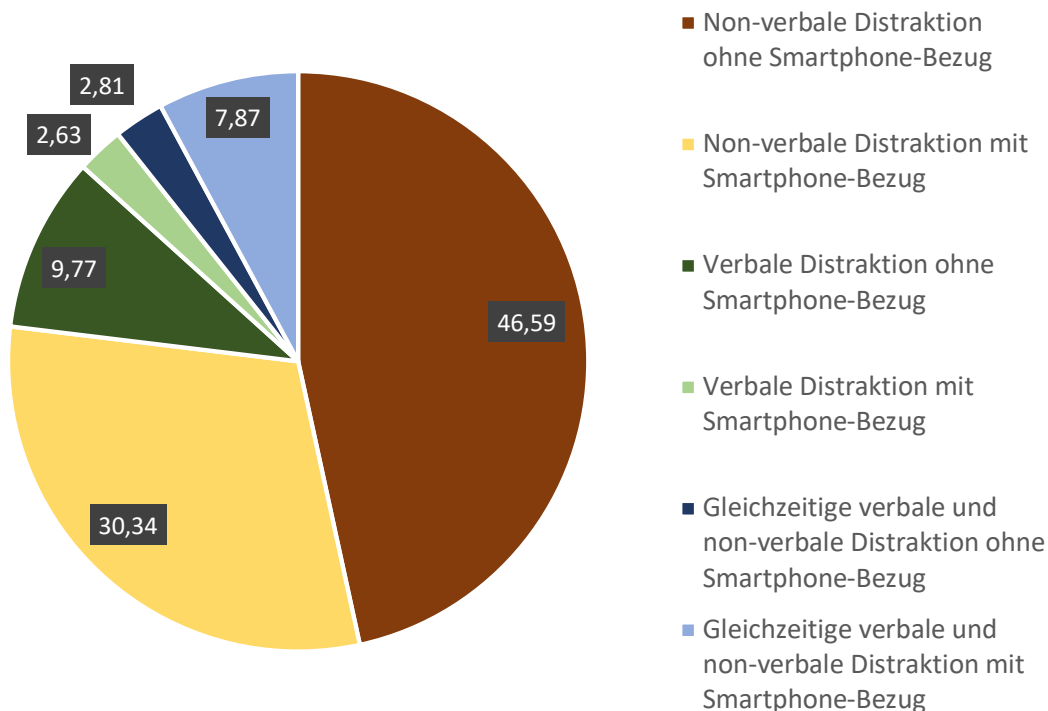


Abbildung 6.25: *Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distractionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion (Fall 2: Pool)*

schließlich Vergleich der Anteile unterschiedlicher Distractionsformen mit Smartphone-Bezug hat die non-verbale Form den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Mit 30,34% ist dieser bedeutend größer als der entsprechende Anteil der verbalen (2,63%) und der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Form (7,87%). Im ausschließlichen Vergleich der Anteile unterschiedlicher Distractionsformen ohne Smartphone-Bezug hat die non-verbale Form ebenso den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion. Mit 46,59% ist dieser erheblich größer als der entsprechende Anteil der verbalen (9,77%) und der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Form (2,81%).

Die Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distractionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden sind in Abbildung 6.26 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.11 zusammengefasst. Sie unterliegen deutlichen individuellen Unterschieden.

den. Unabhängig vom Smartphone-Bezug macht die non-verbale Distraction zwar bei allen Lernenden den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion aus. Ihr Anteil variiert jedoch zwischen 63,33% und 100%.

Im ausschließlichen Vergleich der Distraktionsformen mit Smartphone-Bezug weist die non-verbale Form bei den meisten Lernenden den höchsten Anteil an der Gesamtdistraktion auf. Dies gilt jedoch mit Ausnahme von LP7 und LP10. Bei diesen Lernenden ist der entsprechende Anteil der gleichzeitigen verbalen und non-verbalen Form höher ausgeprägt. Bei LP7 unterscheiden sich die betreffenden Werte mit 24,63% und 16,13% sogar deutlich.

Im ausschließlichen Vergleich der Distraktionsformen ohne Smartphone-Bezug weist die non-verbale Form bei den meisten Lernenden ebenso die höchsten Anteile an der Gesamtdistraktion auf. Dies gilt jedoch mit Ausnahme von LP5. Bei dieser Person hat der entsprechende Anteil der non-verbalen Form den gleichen Wert wie der entsprechende Anteil der verbalen Form.

Der Anteil der Dauer der Distraktion an der Dauer der einzelnen inhaltlichen Arbeitsphasen ist aufgeschlüsselt nach den darin vorgesehenen Lernaktivitäten in Abbildung 6.27 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.12 zusammengefasst. Sie unterscheiden sich zwischen den Lernaktivitäten deutlich. So ist der Distraktionsanteil bei Unterrichtsgesprächen (17,14%) und beim Einsatz der digitalen Musterlösung (20,89%) um ein Vielfaches höher als bei der interaktiven Präsentation (4,32%), beim Einsatz des Erklärvideos (0,82%), bei der analogen Partnerarbeit (1,75%) und beim Einsatz der Simulation (4,33%). Beim Lehrvortrag, bei der analogen Partnerarbeit, beim Einsatz von Erklärtexten und bei der analogen Gruppenarbeit überwiegt die Distraktion ohne Smartphone. Bei den übrigen Lernaktivitäten überwiegt die Distraktion ohne Smartphone-Bezug.

Die zeitliche Entwicklung der Gesamtdistraktion, die in der Abfolge der Lernaktivitäten erkennbar ist, zeigt einen wellenförmigen Verlauf: In den ersten drei Unterrichtssequenzen – interaktive Präsentation, Lehrvortrag und Unterrichtsgespräch – ist ein Anstieg der Gesamtdistraktion erkennbar. Dieser Anstieg wird beim Einsatz des Erklärvideos unterbrochen. Bei diesem ist die Gesamtdistraktion deutlich geringer. Danach steigt die Gesamtdistraktion bis zur digitalen Musterlösung wieder an. Dieser Anstieg wird beim Einsatz der Simulation ebenfalls wieder unterbrochen. Darauf folgt ein weiterer Anstieg der Gesamtdistraktion.

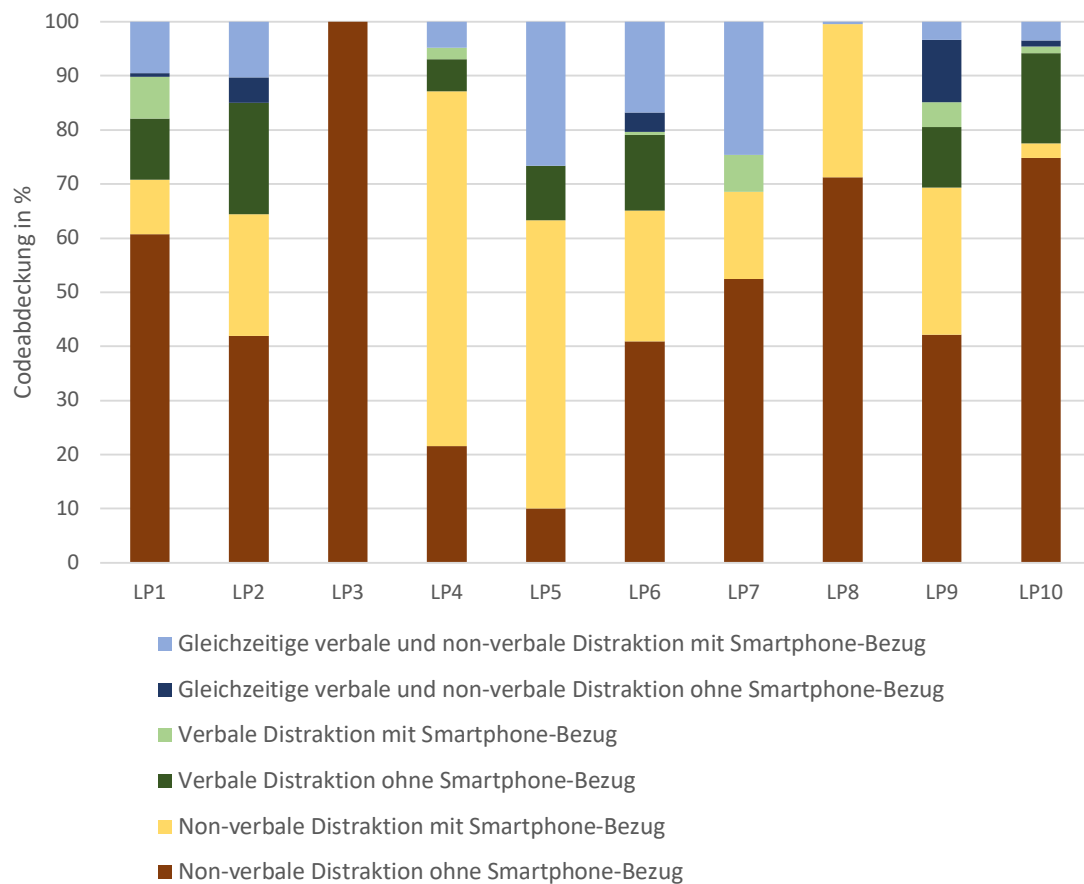


Abbildung 6.26: *Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)*

	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10
Non-verbal ohne SP [%]	60,71	41,90	100,00	21,61	10,00	40,95	52,49	71,23	42,21	74,80
Non-verbal mit SP [%]	10,12	22,53	0,00	65,49	53,33	24,13	16,13	28,31	27,15	2,76
Verbal ohne SP [%]	11,31	20,55	0,00	5,95	10,00	13,97	0,00	0,00	11,21	16,59
Verbal mit SP [%]	7,74	0,00	0,00	2,09	0,00	0,63	6,74	0,00	4,55	1,30
Verbal & non-verbal ohne SP [%]	0,60	4,74	0,00	0,00	0,00	3,49	0,00	0,00	11,56	1,14
Verbal & non-verbal mit SP [%]	9,52	10,28	0,00	4,85	26,67	16,83	24,63	0,46	3,33	3,41

Tabelle 6.11: Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distractionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraktion der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)

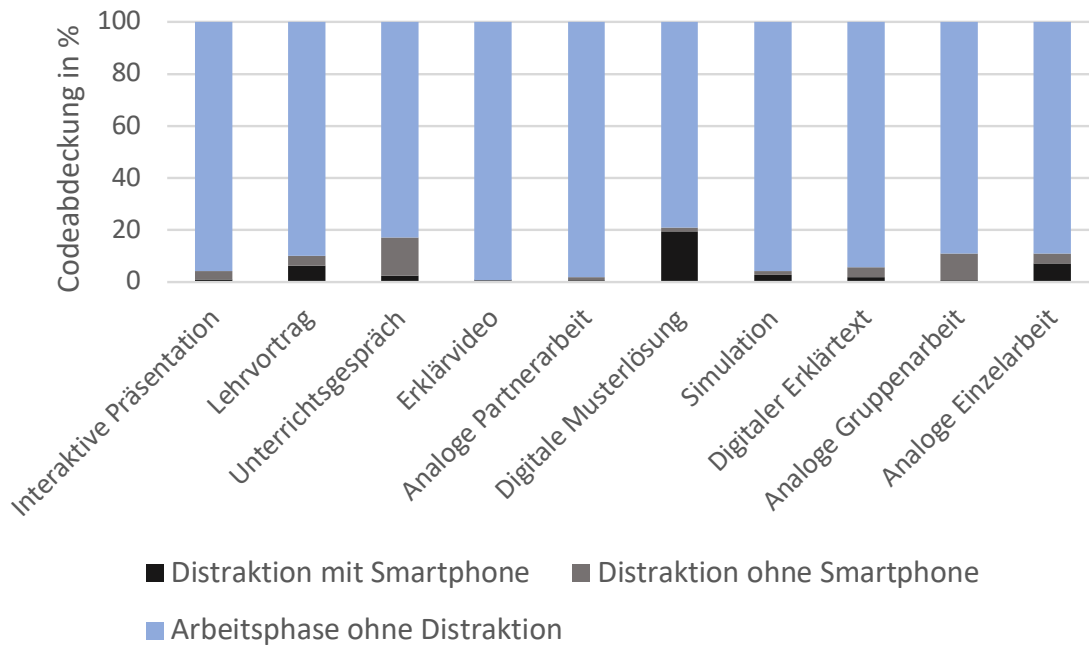


Abbildung 6.27: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der einzelnen inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)

	Distraction mit SP [%]	Distraction ohne SP [%]	Keine Distraction [%]
Interaktive Präsentation	0,90	3,42	95,67
Lehrvortrag	6,31	3,77	89,91
Unterrichtsgespräch	2,53	14,61	82,91
Erklärvideo	0,74	0,08	99,19
Analoge Partnerarbeit	0,75	1,00	98,25
Digitale Musterlösung	19,50	1,39	79,11
Simulation	2,68	1,65	95,68
Digitaler Erklärtext	1,86	3,78	94,36
Analoge Gruppenarbeit	0,70	10,20	89,09
Analoge Einzelarbeit	7,11	3,72	89,16

Tabelle 6.12: Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der einzelnen inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)

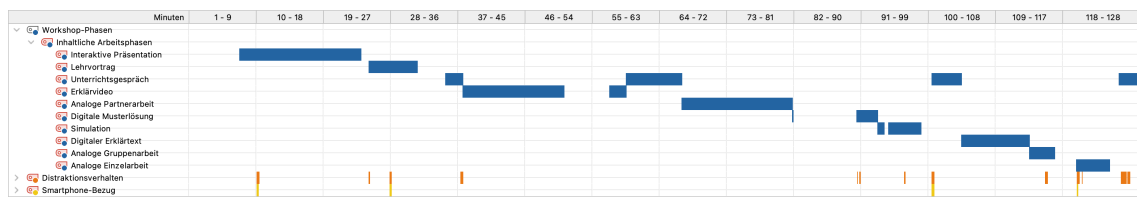


Abbildung 6.28: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP1

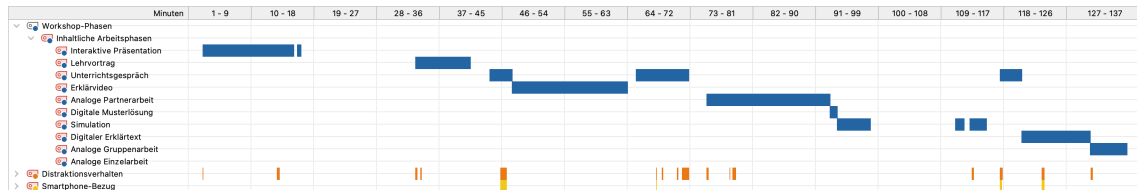


Abbildung 6.29: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP2

Eine detailliertere Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Distraktionsverhaltens findet sich in den personenbezogenen Codelines (s. Abb. 6.28 bis 6.37). Darin sind drei unterschiedliche Muster im Auftreten der Distraktion erkennbar. Bei drei Lernenden – LP2, LP7 und LP8 – treten die Distraktionsereignisse überwiegend an Phasenübergängen auf. Bei fünf weiteren Lernenden – LP1, LP4, LP6, LP9 und LP10 – treten Distraktionsereignisse an jedweden Zeitpunkten der inhaltlichen Arbeitsphasen auf. Dies gilt sowohl für die inhaltlichen Arbeitsphasen zu Beginn als auch für die Arbeitsphasen am Ende des Workshops. Bei zwei weiteren Personen – LP3 und LP5 – treten so wenige Distraktionsereignisse auf, dass kein Muster im zeitlichen Verlauf erkennbar ist.

Der Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen ist in Abbildung 6.38 dargestellt. Mit 38,20% ist dieser Anteil geringer als der Anteil der Tätigkeiten ohne Smartphone-Bezug (61,80%). Der prozentuale Unterschied zwischen den beiden Werten ist jedoch gering.

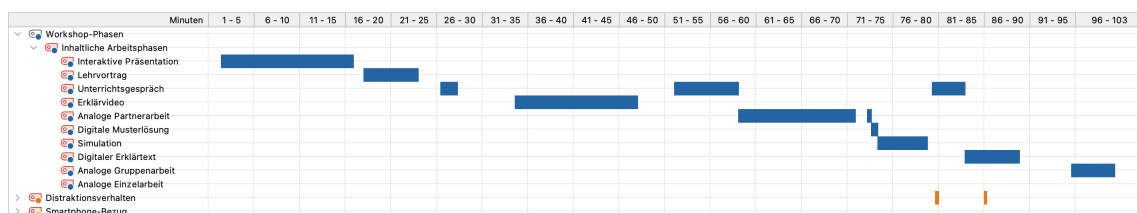


Abbildung 6.30: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP3

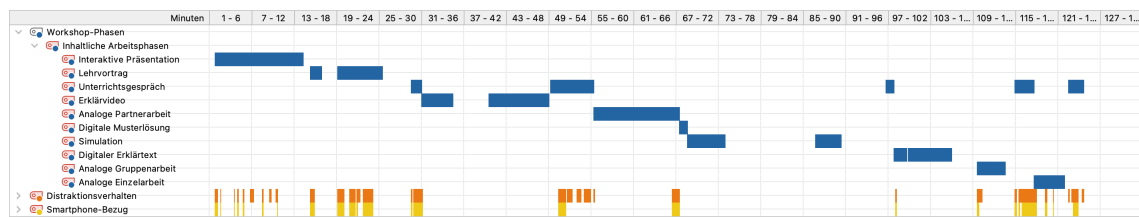


Abbildung 6.31: *Distractionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP4*

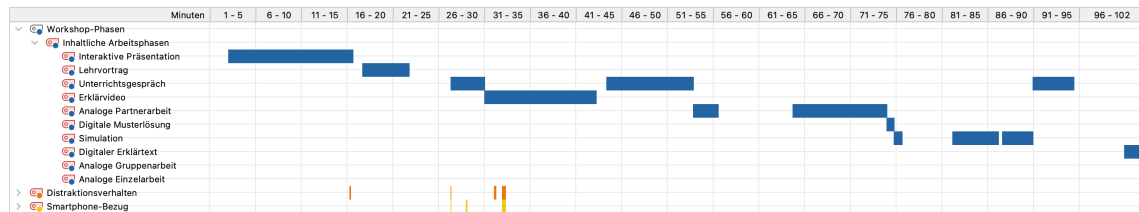


Abbildung 6.32: *Distractionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP5*

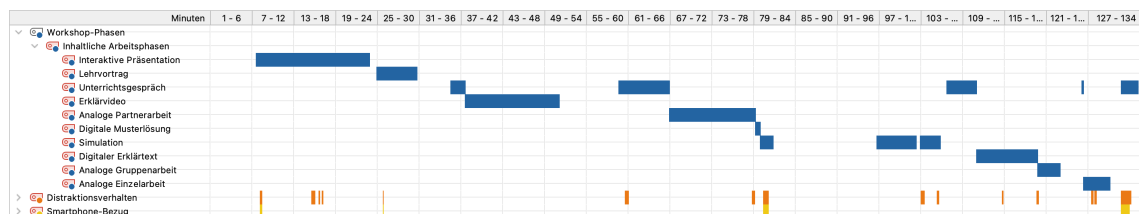


Abbildung 6.33: *Distractionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP6*

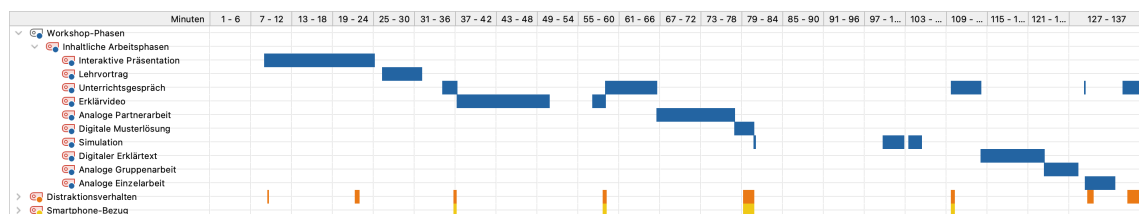


Abbildung 6.34: *Distractionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP7*

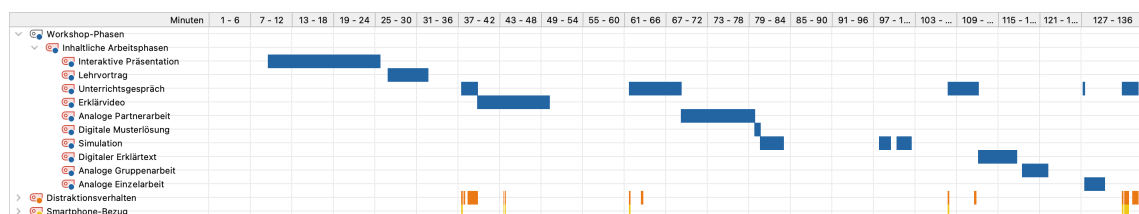


Abbildung 6.35: *Distractionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP8*

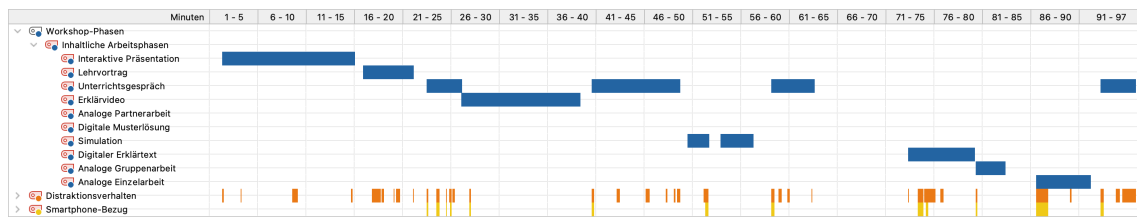


Abbildung 6.36: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP9

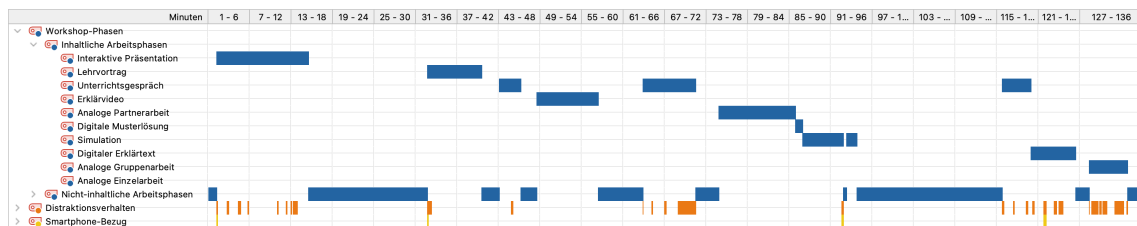


Abbildung 6.37: Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP10

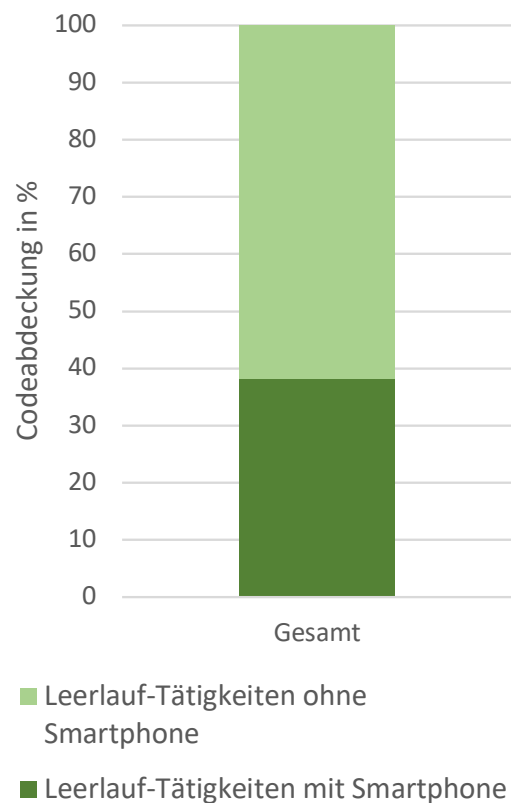


Abbildung 6.38: Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)

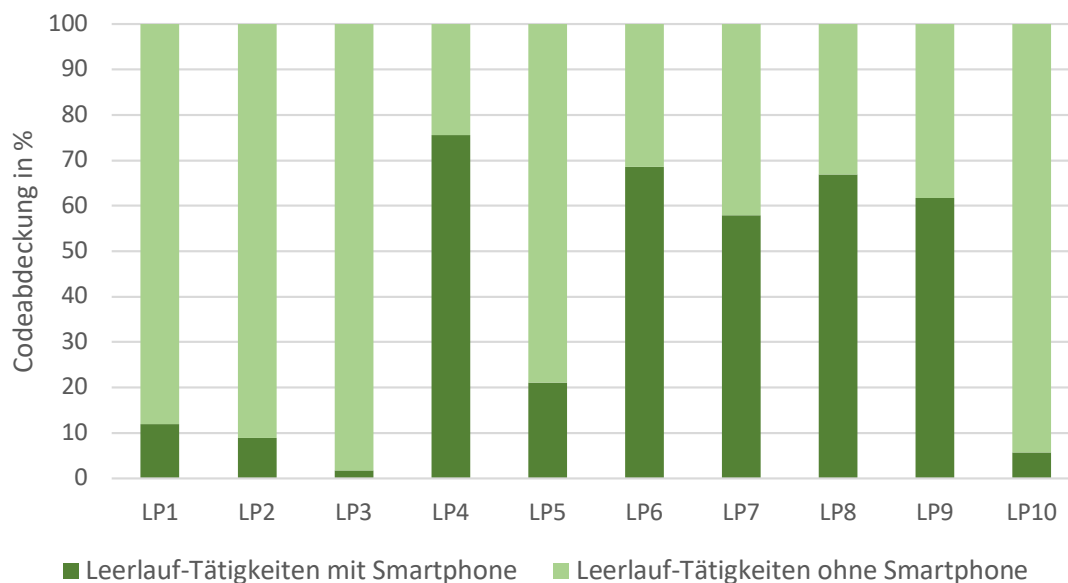


Abbildung 6.39: Anteil der Dauer Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)

Die Anteile der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen der einzelnen Lernenden sind in Abbildung 6.39 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.13 zusammengefasst. Ausnahmslos sind bei allen Lernenden Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug zu verzeichnen. Der entsprechende Anteil an den Leerlauf-Phasen variiert jedoch stark. So haben lediglich 1,75% der Leerlauf-Tätigkeiten von LP3 einen Smartphone-Bezug, wohingegen 75,63% der Leerlauf-Tätigkeiten von LP4 einen solchen Bezug aufweisen.

Die applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen ist in Abbildung 6.40 dargestellt. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 6.14 zusammengefasst. Hier zeigen sich ähnliche Präferenzen wie beim Distraktionsverhalten. So ist die Verwendung von nicht-identifizierbaren Applikationen (28) mit deutlichem Abstand am häufigsten zu verzeichnen. Darauf folgt die Verwendung von Videos (9), sozialen Medien (6), Einstellungen (6), der Kamera (3) und dem Workshop-Material (2).

	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9	LP10
Tätigkeiten mit SP [%]	11,99	8,88	1,75	75,63	21,15	68,56	57,87	66,82	61,77	5,74
Tätigkeiten ohne SP [%]	88,01	91,12	98,25	24,37	78,85	31,44	42,13	33,18	38,23	94,26

Tabelle 6.13: Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 2: Pool)

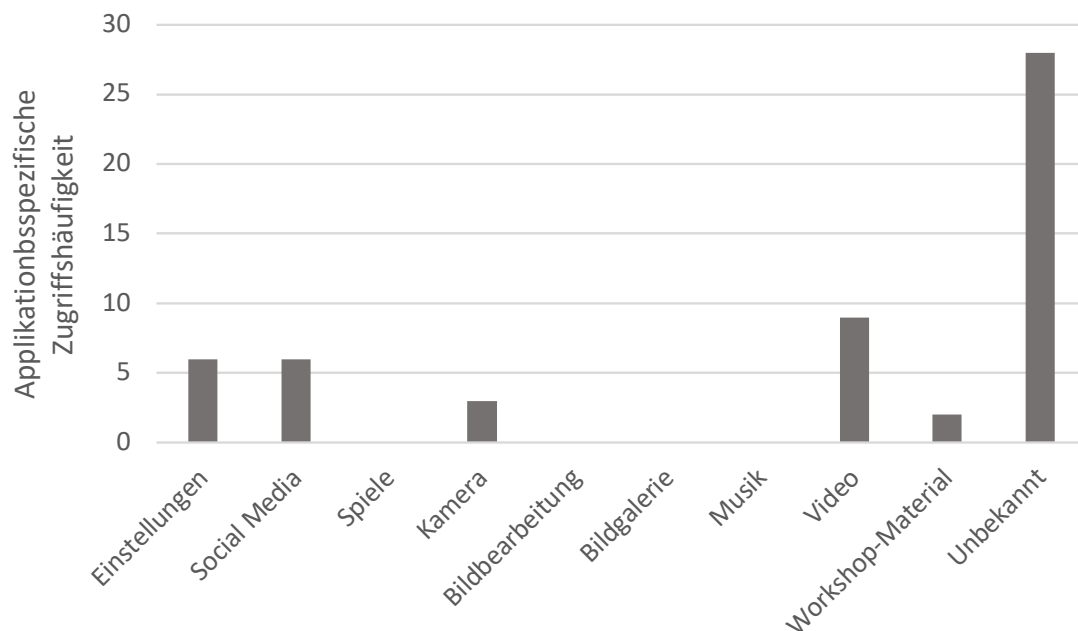


Abbildung 6.40: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)

Applikation	Zugriffshäufigkeit		Applikation	Zugriffshäufigkeit
Social Media	6		Spiele	0
Einstellungen	6		Kamera	3
Bildbearbeitung	0		Bildgalerie	0
Musik	0		Video	9
Workshop-Material	2		Unbekannt	28

Tabelle 6.14: Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)

6.4 Diskussion

Um die Studienlage zu möglichen Erklärungsansätzen für das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Auswirkungen auf die Lernleistung in Studie I (s. Kapitel 5) zu ergänzen, wurde das nicht-lernbezogene Verhalten von ausgewählten Lernenden im Kontext der Bereitstellungsformen BYOD und Pool anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse untersucht. Die dabei identifizierten Verhaltensmuster werden hier in den vorhandenen Literaturhintergrund eingeordnet, interpretiert und einander gegenübergestellt. Zunächst wird dabei geprüft, inwiefern die jeweiligen Ergebnisse als bereitstellungsspezifisch aufgefasst werden können. Dazu wird die Befürchtung (bspw. geschildert von Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) herangezogen, dass das Lernen in BYOD-Kontexten mit einem verstärkten Auftreten von Distraction einhergehen könnte. In dieser Befürchtung spiegelt sich die Annahme wider, dass die persönlichen Endgeräte einen hohen Unterhaltungswert bieten. Im Umkehrschluss beinhaltet dies ebenso, dass die temporär ausgehändigten Endgeräte in Pool-Kontexten einen geringen Unterhaltungswert bieten. Ein vermeintlich hohes motivationales Potenzial zur Verwendung von digitalen Endgeräten in BYOD-Kontexten für nicht-lernbezogene Zwecke steht somit einem vermeintlich geringen motivationalen Potenzial zur dementsprechenden Verwendung von digitalen Endgeräten in Pool-Kontexten gegenüber.

Zur Beantwortung der Frage, inwiefern die jeweiligen Ergebnisse als bereitstellungsspezifisch aufgefasst werden können, wird evaluiert, inwiefern die Verhaltensmuster, die anhand der qualitativen Inhaltsanalyse identifiziert wurden, einheitliche Merkmale aufweisen und inwiefern sie logisch mit den Annahmen bezüglich der Bereitstellungsformen in Verbindung gesetzt werden können. Dabei wird beurteilt, inwiefern sich erkennen lässt, dass ein hohes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung von digitalen Endgeräten im Kontext BYOD und ein geringes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung von digitalen Endgeräten im Kontext Pool vorliegt. Entsprechend dem zugrunde liegenden Studiendesign, der vergleichenden Fallanalyse nach Yin (2018), werden dabei Schlussfolgerungen in argumentativer Weise entwickelt.

6.4.1 Fall 1: BYOD

Die Videoanalyse weist das Auftreten von smartphonebezogener Distraction in der Gruppe der betrachteten Lernenden im BYOD-Kontext nach. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit verschiedenen Studien (Batch et al., 2021; Kay et al., 2017; Ragan et al., 2014), die nachweisen, dass Lernende ihre persönlichen Endgeräte bei der Distraction nutzen. Die Tatsache, dass die smartphonebezogene Distraction bei den betrachteten Lernenden geringer ausgeprägt ist als die nicht-smartphonebezogene Distraction, erscheint allerdings verwunderlich. So lässt die Annahme, dass die persönlichen Endgeräte ein hohes Distractionspotenzial bieten, vermuten, dass die digitale Distraction in BYOD-Kontexten eine hervorgehobene Rolle spielt. Das vorliegende Ergebnis weist jedoch der analogen Distraction eine hohe Bedeutung zu. Dass ein besonders hohes Distractionspotenzial von den persönlichen Endgeräten ausgeht zeigt sich in diesem Ergebnis somit nicht.

Die geringe Ausprägung der smartphonebezogenen Distraction bei den betrachteten Lernenden steht weiterhin im Kontrast zur deutlich höheren Ausprägung der digitalen Distraction, die andere Autoren (genauer McCoy, 2016, 2020; Ragan et al., 2014) bei Studierenden identifizieren. Die großen Unterschiede – der Anteil der smartphonebezogenen Distraction beträgt bei den hier betrachteten Lernenden 4,12%, wohingegen der Anteil der digitalen Distraction von Studierenden in der Studie von Ragan et al. (2014) 63% beträgt – lassen darauf schließen, dass keine pauschalen Aussagen über das Auftreten von Distraction im Umgang mit persönlichen Endgeräten getroffen werden können. Hingegen scheint diese mit dem Erhebungskontext zu variieren.

Darüber hinaus lassen die erheblichen individuellen Unterschiede in der Ausprägung der Distraction mit und ohne Smartphone-Bezug keine Einheitlichkeit erkennen. Stattdessen bieten sie einen Anhaltspunkt zur Annahme, dass das Auftreten von Distraction vielfältigen persönlichen und situativen Faktoren unterliegt. Diese Schlussfolgerung wird auch durch die stark ausgeprägten individuellen Unterschiede hinsichtlich der Ausprägung verbaler und non-verbaler Distractionsformen gestützt. Sie lässt sich insbesondere vor dem Hintergrund ziehen, dass die hier betrachteten Lernenden gezielt mit Hinblick auf die Ausprägung der Merkmale ausgewählt wurden, die nachweislich in Zusammenhang mit dem Auftreten von Distraction stehen. Dass Lernende im Umgang mit persönlichen Endgeräten pauschal zur Distraction oder pauschal zu bestimmten

Formen der Distraction neigen, lässt sich jedenfalls nicht aus den Ergebnissen schließen.

Auch mit Hinblick auf den zeitlichen Verlauf der Distraction lassen sich keine einheitlichen Verhaltensmuster identifizieren. So konnten bei den betrachteten Lernenden drei unterschiedliche Verläufe offengelegt werden: das überwiegende Auftreten von Distraction an Phasenübergängen, das Auftreten von Distraction an beliebigen Zeitpunkten des Workshops und das Auftreten von Distraction an Phasenübergängen mit zunehmendem Auftreten von zusätzlichen Distractionseignissen innerhalb der Workshopphasen. Letzteres Muster stimmt mit den Ergebnissen verschiedener Autoren (s. bspw. Bunce et al., 2010; Godwin et al., 2016; Y. Liu et al., 2021) überein, die ein verstärktes Auftreten von Distraction im zeitlichen Verlauf von Lernaktivitäten berichten. Gemäß Hofer (2007) könnte dies auf die fortschreitende Reduktion von Kapazitäten zur Selbstregulation innerhalb des Schultages zurückzuführen sein. Dass die Phasenübergänge bei manchen Lernenden verstärkt von Distraction betroffen sind – wie in diesem letzten und im ersten Muster erkennbar ist – kann als Indiz für die Existenz von Leerlauf-Phasen gedeutet werden. So ist es denkbar, dass Tätigkeiten aus vorausgehenden Leerlauf-Phasen am Anfang von Arbeitsphasen zu Ende geführt werden und dass die verbleibende Arbeitszeit am Ende von Arbeitsphasen mit Distractionshandlungen überbrückt wird, um das Entstehen von Leerlauf-Phasen zu vermeiden. Mehrheitlich sind die identifizierten Muster somit nicht mit dem Vorliegen eines hohen Distractionspotenzials zu erklären.

Weiterhin scheint das Auftreten von Distraction bei den betrachteten Lernenden nicht an die digitale Stützung der Lernaktivitäten gebunden zu sein. So wurden hohe und niedrige Ausprägungen der Distraction sowohl bei den Lernaktivitäten mit digitalen Medien als auch bei den Lernaktivitäten mit analogen Medien beobachtet. Dies gilt sowohl unabhängig vom Smartphone-Bezug als auch für die ausschließliche Betrachtung der Distraction mit Smartphone-Bezug. Die in Kapitel 6.1 geäußerte Vermutung, dass die Distraction im Umgang mit persönlichen Endgeräten besonders bei digital gestützten Lernaktivitäten in Erscheinung treten könnte, wird somit nicht von den Ergebnissen gestützt.

Bemerkenswert erscheint die Tatsache, dass die Distraction der betrachteten Lernenden bei der Verwendung des Erklärvideos und der Simulation besonders gering ausgeprägt ist. Die beiden Lernmedien wurden als zentrale Elemente des Chemieworkshops mit besonderem Aufwand designt. Im Einklang mit den

Annahmen verschiedener Autoren (s. bspw. Bunce et al., 2010; Godwin et al., 2013) lässt das Ergebnis somit vermuten, dass die Gestaltung der Lernaktivitäten eine hohe Relevanz für das Auftreten von Distraction hat.

Die Tendenz der betrachteten Lernenden, bei der Distraction soziale Medien und Spiele aufzurufen, zeigt jedoch, dass die personalisierten Voreinstellungen der persönlichen Endgeräte durchaus eine Rolle spielen. Der identifizierte Nutzungsschwerpunkt fügt sich in die Ergebnisse verschiedener Studien (s. bspw. Kay et al., 2017; Ragan et al., 2014; Seemiller, 2017) ein, die belegen, dass soziale Medien und Spiele bei der Distraction mit persönlichen Endgeräten genutzt werden. Er könnte darauf zurückzuführen sein, dass entsprechende Applikationen auf den persönlichen Endgeräten installiert sind und ohne Umstände aufgerufen werden können. Folgt man dieser Vermutung ist gleichzeitig anzunehmen, dass der Nutzungsschwerpunkt die persönlichen Präferenzen der Lernenden widerspiegelt.

In ähnlicher Weise kann auch der ergänzende Nutzungsschwerpunkt bei den nicht-identifizierbaren Anwendungen interpretiert werden, der hier als Indiz für das Surfen auf vielfältigen Websites gewertet wird. Er kann jedoch nicht auf die Personalisierung der digitalen Endgeräte zurückgeführt werden. Hingegen zeigt sich hierin, dass die digitale Distraction in BYOD-Kontexten nicht zwangsläufig auf das voreingestellte Anwendungsspektrum beschränkt ist.

Hinsichtlich der Leerlauf-Tätigkeiten weist die Videoanalyse den persönlichen Endgeräten eine hohe Bedeutung zu. So verbrachten die betrachteten Lernenden einen erheblichen Anteil der Leerlauf-Phasen mit der Verwendung ihrer Smartphones oder Gesprächen darüber. Gemäß dem Modell von Schubert et al. (2023) sind diese Tätigkeiten als adaptive Strategie zur Bewältigung der Leerlauf-Phasen einzuordnen. Somit ist das Ergebnis mit der Annahme vereinbar, dass die persönlichen Endgeräte einen hohen Unterhaltungswert bieten. Ein hohes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung der persönlichen Endgeräte ist in diesem Ergebnis deutlich zu erkennen.

Die erheblichen individuellen Unterschiede in der Ausprägung des Smartphone-Bezugs der Leerlauf-Tätigkeiten der einzelnen Lernenden zeigen jedoch, dass auch mit Hinblick auf das Verhalten in Leerlauf-Phasen keine pauschalen Aussagen getroffen werden können. Hingegen scheint auch dieses vielfältigen persönlichen und situativen Faktoren zu unterliegen, sodass nicht von einheitlichen Verhaltenstendenzen ausgegangen werden kann.

Dass die betrachteten Lernenden in den Leerlauf-Phasen schwerpunktmäßig soziale Medien, Spiele und nicht-identifizierbare Anwendungen nutzten, stimmt mit ihren Zugriffstendenzen bei der Distraction überein. Auch hierin besteht somit ein Anhaltspunkt dafür, dass die Wahl der Applikationen die persönlichen Präferenzen der Lernenden widerspiegelt. Diese Präferenzen könnten – wie bereits erwähnt – in den Einstellungen der persönlichen Endgeräte manifestiert sein.

Letztlich scheinen jedoch nur wenige der identifizierten Verhaltensmuster für die Existenz eines BYOD-eigenen Verhaltensprofils zu sprechen. Die Videoanalyse belegt zwar, dass die persönlichen Endgeräte bei der Distraction und während der Leerlauf-Phasen genutzt werden, sie liefert jedoch keine Ergebnisse, die für die Existenz einheitlicher Verhaltenstendenzen sprechen. Darüber hinaus ist ein besonders hohes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung der persönlichen Endgeräte vorwiegend in den Leerlauf-Phasen zu erkennen. Für eine grundsätzliche Wirkungsweise sprechen die Ergebnisse somit nicht.

6.4.2 Fall 2: Pool

Die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens im Pool-Kontext liefert in vielen Fällen ähnliche Ergebnisse wie die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens im BYOD-Kontext: Sie zeigt, dass (a) smartphonebezogene Distraction bei den betrachteten Lernenden auftritt und gegenüber der nicht-smartphonebezogenen Distraction geringer ausgeprägt ist, dass (b) die Ausprägung der Distraction bei den betrachteten Lernenden sowohl unabhängig vom Smartphone-Bezug als auch mit Hinblick auf diesen individuell stark variiert, dass (c) die Ausprägung der Distraction bei den betrachteten Lernenden auch mit Hinblick auf ihre verbale oder non-verbale Form individuell variiert, dass (d) die zeitliche Entwicklung der Distraction bei den betrachteten Lernenden unterschiedlichen Mustern unterliegt, dass (e) die Distraction bei den betrachteten Lernenden nicht zwangsläufig an die Nutzung der Smartphones für die Lernaktivitäten gebunden ist, dass (f) die Leerlauf-Phasen bei den betrachteten Lernenden in erheblichem Maße durch die Verwendung der Smartphones geprägt sind und dass (g) die Ausprägung der smartphonebezogenen Tätigkeiten bei den einzelnen Lernenden stark variiert.

Die Ergebnisse führen zu denselben Schlussfolgerungen, die auch aus den Ergebnissen der Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens im BYOD-Kontext gezogen wurden: Zum einen bieten sie Anhaltspunkte zur Annahme, dass das Auftreten von nicht-lernbezogenem Verhalten im Umgang mit temporär ausgehändigten Endgeräten vielfältigen persönlichen und situativen Faktoren unterliegt. Zum anderen zeigen sie, dass auch die temporär ausgehändigten Endgeräte zur Distraction und zur Überbrückung von Leerlauf-Phasen verwendet werden. Die Annahme, dass die temporär ausgehändigten Endgeräte ein lediglich geringes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung bieten, lässt sich nicht in den Ergebnissen erkennen. Dies gilt insbesondere für die Tatsache, dass die Leerlauf-Phasen bei den betrachteten Lernenden zu einem erheblichen Anteil durch die Verwendung von Smartphones geprägt sind. So legt diese Beobachtung nahe, dass auch die temporär ausgehändigten Endgeräte einen hohen Unterhaltungswert bieten.

Darüber hinaus lässt auch die Verortung der Distractionereignisse innerhalb des Workshops Zweifel an der Vorstellung, dass Pool-Geräte neutrale, für das Lernen optimierte Endgeräte sind. So zeigt sich bei den betrachteten Lernenden nicht, dass die digital gestützten Lernaktivitäten ausschließlich in geringerem Maße von Distraction betroffen sind. Weiterhin ist auch nicht erkennbar, dass die Distraction der Lernenden im Verlauf des Workshops – und der fortschreitenden Gewöhnung an das Fremdgerät – zunimmt. Die Ergebnisse lassen folglich nicht darauf schließen, dass Barrieren existieren, die die nicht-lernbezogene Verwendung von temporär ausgehändigten Geräten hindern würden.

Die Art und Weise wie die betrachteten Lernenden die temporär ausgehändigten Smartphones bei der Distraction und in Leerlauf-Phasen nutzten, scheint die speziellen Eigenschaften der Endgeräte, die in der fehlenden Personalisierung bestehen, hingegen widerzuspiegeln. So zeigt sich eine deutliche Tendenz zur Wahl von nicht-identifizierbaren Applikationen, die hier als Indiz für das Surfen auf vielfältigen Websites interpretiert wird. Die Lernenden nutzten die Smartphones bei ihren Distractionshandlungen also beliebig und unabhängig vom vorinstallierten Angebot. Dass über den Internetbrowser auch soziale Medien aufgerufen wurden, unterstreicht weiterhin, dass Pool-Geräte nicht vor dieser Art der Verwendung schützen.

Letztlich lässt sich also feststellen, dass auch mit Hinblick auf die Bereitstellungsform Pool nur wenige der Ergebnisse für die Existenz eines spezifischen

Verhaltensprofils sprechen. So lässt sich weder erkennen, dass einheitliche Verhaltenstendenzen vorliegen, noch lässt sich erkennen, dass von den temporär ausgehändigten Endgeräten grundsätzlich ein geringes motivationales Potenzial zur nicht lernbezogenen Verwendung ausgeht. Dabei könnte der Internetbrowser eine gewichtige Rolle spielen. Er öffnet den Zugang zu Anwendungen, die nicht in Form von Applikationen auf den Geräten vorinstalliert sind und deren Verwendung nicht im Sinne der Lerntätigkeiten vorgesehen ist.

6.4.3 Fallübergreifender Vergleich

Die beiden Fallanalysen deuten nicht auf die Existenz von bereitstellungsspezifischen Unterschieden im nicht-lernbezogenen Verhalten hin. So sprechen die Ergebnisse der betrachteten Lernenden im BYOD-Kontext nicht dafür, dass von den persönlichen Endgeräten grundsätzlich ein hohes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung ausgeht. Gleichermassen sprechen die Ergebnisse der betrachteten Lernenden im Pool-Kontext nicht dafür, dass von den temporär ausgehändigten Endgeräten grundsätzlich ein geringes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung ausgeht. Zudem lassen die individuellen Ergebnisse in beiden Kontexten darauf schließen, dass das nicht-lernbezogene Verhalten vielfältigen situativen und persönlichen Faktoren unterliegt. Die jeweiligen Ergebnisse sind somit nicht logisch mit den bereitstellungsspezifischen Eigenschaften in Verbindung zu bringen, die sich aus den BYOD-kritischen Äußerungen (s. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) ableiten lassen.

Die identifizierten Unterschiede in der Wahl der Applikationen beim Distraktionsverhalten und beim Smartphone-Nutzungsverhalten in den Leerlauf-Phasen sind nicht zwangsläufig als Indiz für grundlegende Verhaltensunterschiede zu interpretieren. Dass die betrachteten Lernenden im BYOD-Kontext überwiegend Anwendungen nutzten, die vermeintlich auf ihren persönlichen Endgeräten installiert sind, und dass die betrachteten Lernenden im Pool-Kontext überwiegend Anwendungen nutzten, die nicht auf den temporär ausgehändigten Endgeräten installiert sind, lässt im Gegenteil darauf schließen, dass sich die persönlichen Präferenzen der Lernenden in ihrem nicht-lernbezogenen Verhalten widerspiegeln.

In Anbetracht dieser Ergebnisse stellt sich die Frage nach den Ursachen von nicht-lernbezogenem Verhalten. Gemäß den in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Modellen (s. Atkinson & Birch, 1970; Kotabe & Hofmann, 2015; Lens et al., 2005; Zhou, 2022) stellt die Motivation zu diesem Verhalten einen entscheidenden Faktor für dessen Auftreten dar. Sofern die nicht-lernbezogene Verwendung digitaler Endgeräte einen besonderen motivationalen Stellenwert für die Lernenden bietet, könnte die Präsenz dieser Geräte also zum Auftreten von nicht-lernbezogenem Verhalten beitragen. Sollte der nicht-lernbezogenen Verwendung der digitalen Endgeräte einer bestimmten Bereitstellungsform weiterhin ein erhöhter motivationaler Stellenwert zukommen, könnte die Präsenz dieser Geräte dementsprechend verstärkt zum Auftreten von nicht-lernbezogenem Verhalten beitragen. Die Existenz eines solchen Potenzials zeichnet sich in den bereitstellungsspezifischen Verhaltensmustern jedoch nicht ab. Diese stellen eher einen Anhaltspunkt zur Annahme dar, dass die digitalen Endgeräte nicht als Ursache, sondern als Mittel zum nicht-lernbezogenen Verhalten zu verstehen sind. Ein solches Verständnis steht im Einklang mit den vielfältigen Studien, die dem nicht-lernbezogenen Verhalten eine Funktion zuordnen. Diese kann beispielsweise im Genuss von Unterhaltung (s. Boekaerts et al., 2006), im Erhalt von Freundschaften (s. Wentzel, 1989) oder im Erreichen eines hohen Gruppenstatus (s. Dowson & McInerney, 2003) bestehen. Die Verwendung von digitalen Endgeräten kann für diese Zwecke instrumentalisiert werden. Ob es sich dabei um ein persönliches oder ein temporär ausgehändigtes Endgerät handelt, könnte dabei zweitrangig sein.

Besonders gestützt wird das Verständnis von digitalen Endgeräten als Mittel und nicht als Ursache von nicht-lernbezogenem Verhalten durch die Tatsache, dass die Lernaktivitäten mit aufwändig designten digitalen Lernmedien – dem Erklärvideo und der Simulation – bei den betrachteten Lernenden in beiden Bereitstellungskontexten lediglich in geringem Maße von Distraction betroffen waren. Dieses Ergebnis lenkt den Blick weg von der Bereitstellungsform und hin zur Unterrichtsqualität. Wie das nicht-lernbezogene Verhalten ausgeprägt ist und wie lernwirksam der Unterricht in Folge sein kann, sollte in besonderem Maße von diesem Merkmal abhängen.

6.4.4 Limitationen und Ausblick

Ein möglicher Einwand, der gegen die hier diskutierte Studie vorgebracht werden könnte, ist ihr Fokus auf die individuellen Unterschiede im nicht-lernbezogenen Verhalten, die in beiden Bereitstellungskontexten identifiziert wurden. Angesichts der Tatsache, dass das Schema zur Auswahl der Lernenden nicht alle Merkmale enthält, die nachweislich mit dem Auftreten von Distraction in Zusammenhang stehen, und angesichts der Tatsache, dass die Videoanalysen von zwei unterschiedlichen Codiererinnen durchgeführt wurden, könnte der Vorwurf erhoben werden, dass die betreffenden Unterschiede auf Mängel in der methodischen Umsetzung zurückzuführen sind. Diesem Vorwurf kann jedoch durch eine Betrachtung einzelner Ergebnisse begegnet werden. So sind deutliche individuelle Unterschiede auch zwischen den Lernenden zu erkennen, die dem festgelegten Auswahlkriterium in allen Merkmalen entsprechen, die für das Auftreten von Distraction relevant sind. Beispielsweise weichen die Lernenden LB1 und LB4 in keinem dieser Merkmale um mehr als eine Standardabweichung vom Stichprobenmittelwert ab. Dennoch unterscheiden sie sich in der Ausprägung ihres nicht-lernbezogenen Verhaltens stark. Gleiches gilt für die Lernenden LB1 und LB2 und die Lernenden LB4 und LB5, die paarweise von jeweils einer der beiden Codiererinnen analysiert wurden. Starke individuelle Unterschiede bestehen bei den betrachteten Lernenden somit unabhängig von den Codiererinnen und dem Einbezug von Merkmalen in das Auswahlschema.

Gleichwohl gilt es zu beachten, dass diese Studie auf einer kleinen Stichprobe beruht, deren Merkmalsausprägungen laut Yin (2018) nicht verallgemeinerbar sind. Die betrachteten acht Lernenden im BYOD-Kontext und zehn Lernenden im Pool-Kontext sind somit nicht als repräsentativ für die zugrunde liegende Population anzusehen. Hingegen ist es wahrscheinlich, dass die identifizierten Ausprägungen ihres nicht-lernbezogenen Verhaltens nicht exakt mit den betreffenden Mittelwerten ihrer Population übereinstimmen. Es wird daher nicht der Anspruch erhoben, die identifizierten Ausprägungen auf diese Population übertragen zu können. Stattdessen wird im Rahmen dieser Studie nach Hinweisen darauf gesucht, dass Unterschiede im motivationalen Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung von digitalen Endgeräten zwischen BYOD und Pool bestehen. Sie stellt somit einen Baustein in der Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen dar, dessen Ergänzung durch weitere Studien wünschenswert ist. Zu diesem Zweck sind zwei Herangehensweisen denkbar. Zum einen könnte

das Prinzip der Replikation angewandt werden, das laut Yin (2018) dazu beitragen kann, die bestehende Wissensbasis zu fundieren. Zum anderen könnten statistische Analysen genutzt werden, um die bereitstellungsspezifischen Ausprägungen des nicht-lernbezogenen Verhaltens in den beiden Kontexten direkt miteinander zu vergleichen. Dazu wäre es jedoch erforderlich deutlich mehr Lernende zu analysieren.

Ein weiterer wünschenswerter Beitrag zur Ergänzung der Studienlage besteht in der Durchführung entsprechender Studien mit anderen exemplarisch verwendeten Gerätetypen wie etwa Tablets. In Anbetracht der Tatsache, dass sich unterschiedliche Gerätetypen in ihrem Nutzungsumfang unterscheiden (s. Dixon & Tierney, 2012), erscheint es möglich, dass ihr Einsatz im Unterricht zu unterschiedlichen Distraktionsmustern führt. Beispielsweise ist es denkbar, dass Lernende, die ihre eigenen Tablets verwenden, eher Videoanwendungen und Spiele als soziale Medien nutzen, und dass sich diese Tendenz auch bei temporär ausgehändigten Tablets zeigt.

Darüber hinaus kann die Identifikation von nicht-sichtbaren Distraktionsformen wie dem Tagträumen einen wertvollen Beitrag zur Studienlage leisten. Da diese Distraktionsformen im Videomaterial nicht eindeutig zu erkennen sind, wurden sie in der hier diskutierten Studie nicht berücksichtigt. Um sie zu erfassen, bedarf es der Einschätzung der Lernenden selbst. Diese Einschätzung könnte wiederkehrend und aufgabenbezogen im Anschluss an abgeschlossene Lernaktivitäten erhoben werden. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen beispielsweise Zureick et al. (2018), die das Auftreten von Distraction jedoch global und nicht aufgabenspezifisch erfassten.

Unabhängig davon, welches Design in zukünftigen Studien genutzt wird, sollte dafür Sorge getragen werden, dass die Limitation, die hier aus der realitätsfernen Abbildung der Bereitstellungsform Pool folgt, vermieden wird. Die Tatsache, dass die betrachteten Lernenden in dieser Studie mit einem Gerät ausgestattet wurden, dessen Betriebssystem mit demjenigen ihres privaten Geräts übereinstimmt, erscheint – wie bereits in Studie I (s. Kapitel 5) erläutert wurde – nicht vereinbar mit der gängigen Praxis. Der dafür erforderliche finanzielle und organisatorische Aufwand wäre für Schulen schlicht zu groß. Es ist jedoch vorstellbar, dass die Bedienbarkeit des Betriebssystems für das Auftreten von Distraction relevant ist. Dabei kommen zwei gegensätzliche Szenarien in Frage: Einerseits könnte die schwierige Bedienung eines unbekannten Betriebssystems

die Verwendung digitaler Endgeräte für nicht-lernbezogene Zwecke unattraktiv machen und damit das Auftreten von Distraction verringern. Andererseits könnte diese Hürde zu Frustration bei den Lernaktivitäten führen und das Auftreten von Distraction verstärken. Diese potenziellen Effekte werden in der vorliegenden Studie nicht beleuchtet.

7 Studie III: Zusammenhang zwischen nicht-lernbezogenem Verhalten und Lernleistung

Studie III vervollständigt die weiterführende Untersuchung eines möglichen Erklärungsansatzes für das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Auswirkungen auf die Lernleistung in Studie I (s. Kapitel 5). Der erste Teil dieser Untersuchung wurde in Studie II (s. Kapitel 6) erbracht, in der unterschiedliche Bereitstellungsformen hinsichtlich des nicht-lernbezogenen Verhaltens analysiert wurden. Diese Analyse trägt jedoch nur dann zur Ergründung der Ergebnisse von Studie I bei, wenn das nicht-lernbezogene Verhalten in Zusammenhang mit der Lernleistung steht. Inwiefern dies zutrifft, soll hier untersucht werden.

Der Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und der Lernleistung wird hier jedoch nicht zum ersten Mal in den Blick genommen. Wie in den Kapiteln 2.1.4 und 2.1.5 dargestellt wurde, wird er sowohl von vorausgehenden empirischen Studien (s. bspw. Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012) als auch von anerkannten kognitiven Modellen (s. bspw. Salvucci & Taatgen, 2008; Sweller, 1988; Wickens, 2002) beleuchtet. Sie legen nahe, dass eine Komponente des nicht-lernbezogenen Verhaltens – die Distraction – in einem negativen Zusammenhang mit der Lernleistung steht.

Die benannten empirischen Studien weisen jedoch Defizite auf, die eine Ergänzung der bestehenden Studienlage erforderlich machen. In den Studien von Cocea et al. (2009) und Roberge et al. (2012) besteht ein Defizit beispielsweise darin, dass die Lernaktivitäten, die als Untersuchungskontext dienen, nicht den Lernaktivitäten entsprechen, die typisch für den regulären Schulunterricht sind. So beschränken sich beide Studien auf die Bearbeitung von Aufgaben in digitalen Lernprogrammen. In der Studie von Godwin et al. (2021) besteht wiederum ein Defizit in der geringen Nachvollziehbarkeit der Leistungsbewertung.

Da diese auf Schulnoten basiert, sind die zugrunde liegenden Inhalte, Maßstäbe und Erhebungsformen nicht ersichtlich.

Im Gegensatz zu den benannten Vorgängerstudien bietet die vorliegende Studie eine transparente Leistungsmessung im Rahmen eines authentischen Unterrichtskontexts. Darüber hinaus betrachtet sie neben dem Zusammenhang zwischen Distraction und Lernleistung auch den Zusammenhang zwischen den Leerlauf-Tätigkeiten und der Lernleistung. Hinsichtlich dessen konnten im Rahmen einer weitreichenden Literaturrecherche keine aussagekräftigen Studien identifiziert werden. Ob ein entsprechender Zusammenhang besteht, ist allerdings untersuchungswürdig. So ist es denkbar, dass die Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen Auswirkungen auf das Verhalten in inhaltlichen Arbeitsphasen hat. Hierbei kommen zwei hypothetische Szenarien in Frage: Im ersten Szenario trägt die Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen dazu bei, Verpassungsangst zu reduzieren. Entsprechende smartphonebezogene Handlungen in inhaltlichen Arbeitsphasen könnten dadurch reduziert und die Lernleistung erhöht werden. Im zweiten Szenario ist das Gegenteil der Fall. Hier führt die Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen dazu, dass entsprechende Handlungen in inhaltlichen Arbeitsphasen auftreten, sodass die Lernleistung reduziert wird. In beiden hypothetischen Szenarien wird die Auswirkung der smartphonebezogenen Leerlauf-Tätigkeiten auf die Lernleistung demnach durch das Auftreten von Distraction in inhaltlichen Arbeitsphasen vermittelt.

7.1 Konkretisierung der Forschungsfragen

Studie III widmet sich dem Forschungsinteresse 3, das in Kapitel 1.3 begründet wird. Es lautet:

FI 3: Inwiefern wirkt sich das nicht-lernbezogene Verhalten auf die Lernleistung im digital gestützten Unterricht aus?

Zur Entwicklung von beantwortbaren Forschungsfragen wird das Forschungsinteresse wie in den Studien I und II (s. Kapitel 5 und 6) mit Hinblick auf die zugrunde liegende Datenerhebung konkretisiert. Diese wurde im Kontext von digital gestützten Workshops durchgeführt. Darüber hinaus wurde das Verhalten der Lernenden nicht experimentell manipuliert. Die daraus resultierende

Konkretisierung führt zur Formulierung von Forschungsfrage 3. Sie dient als übergreifende Fragestellung von Studie III und lautet:

FF 3: Inwiefern lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und der Lernleistung in einem digital gestützten Workshop identifizieren?

Die zugrunde liegende Konzeptualisierung des nicht-lernbezogenen Verhaltens (s. Kapitel 2) gliedert dieses in zwei Komponenten: Distraktionsverhalten und Leerlauf-Tätigkeiten. Das Distraktionsverhalten wurde im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse in Studie II sowohl allgemein als auch in smartphonebezogener Form erfasst. Dabei wurde der zeitliche Anteil beider Verhaltensformen an den inhaltlichen Arbeitsphasen bestimmt. Die Leerlauf-Tätigkeiten wurden im Rahmen derselben Analyse ausschließlich in smartphonebezogener Form erfasst. Dabei wurde der zeitliche Anteil smartphonebezogener Tätigkeiten an den Leerlauf-Phasen bestimmt. Alle drei dieser Merkmale sind für die vorliegende Studie von Bedeutung. Sie werden mit der Lernleistung in Beziehung gesetzt, die anhand des Fachwissenszuwachses bestimmt wird. Die verfügbaren Daten führen zur weiteren Konkretisierung der übergreifenden Fragestellung. Die betreffenden Unterfragen lauten:

FF 3.1: Inwiefern lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen in einem digital gestützten Workshop und dem darin erzielten Fachwissenszuwachs identifizieren?

FF 3.2: Inwiefern lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction mit Smartphone-Bezug an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen in einem digital gestützten Workshop und dem darin erzielten Fachwissenszuwachs identifizieren?

FF 3.3: Inwiefern lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen in einem digital gestützten Workshop und dem darin erzielten Fachwissenszuwachs identifizieren?

7.2 Konkretisierung der angewandten Methodik

Die in Kapitel 7.1 dargestellten Forschungsfragen erfordern eine kombinierte Analyse der quantitativen Daten hinsichtlich des nicht-lernbezogenen Verhaltens und des Fachwissenszuwachses. Dazu werden Methoden der Statistik genutzt, die grundlegend in Kapitel 4.1 beschrieben sind und in diesem Kapitel konkretisiert werden. Ihre Anwendung erfolgte mithilfe der Software *Excel*. Die in der betreffenden Datei enthaltenen Daten wurden zum Teil im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse in Studie II generiert. Das methodische Vorgehen bei dieser Analyse ist ausführlich in Kapitel 6.2.3 beschrieben.

7.2.1 Stichprobe

Die erforderliche Analyse zur Beantwortung der zugrunde liegenden Forschungsfragen (s. Kapitel 7.1) basiert zum Teil auf Daten, die in Studie II generiert wurden. Bei der Stichprobe der vorliegenden Studie handelt es sich daher um die Stichprobe von Studie II. Diese ist in Kapitel 6.2.2 beschrieben.

7.2.2 Auswahl und Anwendung statistischer Verfahren

Die zugrunde liegenden Forschungsfragen (s. Kapitel 7.1) richten den Fokus auf die Identifikation eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und dem Fachwissenszuwachs. Nach Eid et al. (2015) ist ein Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen dadurch gekennzeichnet, dass bestimmte Ausprägungen des einen Merkmals häufig mit bestimmten Ausprägungen des anderen Merkmals gepaart sind. Bei einem positiven linearen Zusammenhang ist beispielsweise zu beobachten, dass niedrige Ausprägungen des einen Merkmals häufig mit niedrigen Ausprägungen des anderen Merkmals und hohe Ausprägungen des einen Merkmals häufig mit hohen Ausprägungen des anderen Merkmals gepaart sind (Eid et al., 2015).

Um die Existenz eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und dem Fachwissenszuwachs zu prüfen, werden die betreffenden Daten zunächst in einem Punktdiagramm aufgetragen. Nach Bortz und Schuster (2010) wird auf diese Weise deutlich, ob ein Zusammenhang vorliegt und welcher mathematischen Form dieser entspricht. Ein linearer Zusammenhang zeigt sich etwa in einer ellipsenförmigen Punktanordnung, die umso

flacher ist, umso stärker der Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen ist. Dass alle Punkte auf einer Geraden liegen – wie es ein linearer Zusammenhang erwarten ließe – ist in der Praxis allerdings unwahrscheinlich (Bortz & Schuster, 2010).

Um den möglichen Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und dem Fachwissenszuwachs genauer zu beschreiben, wird zusätzlich die Produkt-Moment-Korrelation bestimmt. Nach Fahrmeir et al. (2016) handelt es sich hierbei um ein Maß, das die Stärke von linearen Zusammenhängen beschreibt. Die Werte der Produkt-Moment-Korrelation sind auf den Bereich zwischen -1 und +1 begrenzt. Dabei steht ein positiver Wert für einen positiven linearen Zusammenhang und ein negativer Wert für einen negativen linearen Zusammenhang. Der Betrag des Koeffizienten drückt wiederum die Stärke des Zusammenhangs aus (Fahrmeir et al., 2016).

Zur Beurteilung der statistischen Signifikanz der Produkt-Moment-Korrelation wird außerdem der zugehörige p-Wert bestimmt. Nach Hemmerich (2024a) ist dieses Vorgehen trotz des deskriptiven Charakters von Korrelationsanalysen üblich. Das herangezogene Signifikanzniveau wird in der vorliegenden Analyse allerdings auf 10% erhöht. Dieses Vorgehen ist mit der geringen Größe der betrachteten Stichprobe zu begründen. Da diese nur achtzehn Personen umfasst, ist eine statistische Signifikanz nur bei besonders starken Zusammenhängen zu erwarten. Die Erhöhung des Signifikanzniveaus dient somit der Identifikation weniger starker Zusammenhänge. Sie steht im Einklang mit der Empfehlung von Kim (2015), die Stichprobengröße bei Entscheidungen über das Signifikanzniveau zu beachten.

7.2.3 Prüfung und Erhalt erforderlicher Voraussetzungen

Laut Hemmerich (2024b) beschreibt die Produkt-Moment-Korrelation die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen nur dann zutreffend, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind: (a) Die betrachteten Merkmale werden durch numerische Werte beschrieben, deren Abstand interpretierbar ist. (b) Die mathematische Form des Zusammenhangs ist linear. (c) Beide Merkmale werden durch Datensätze ohne Ausreißer charakterisiert und (d) ihre Varianzen und Kovarianzen sind endlich.

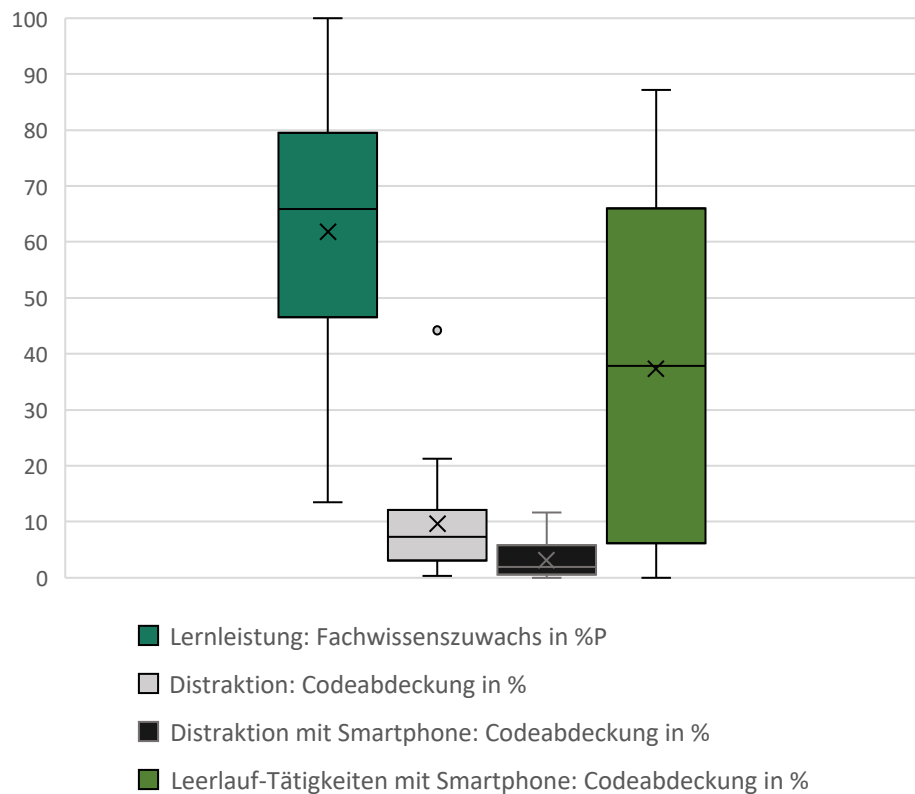


Abbildung 7.1: Verteilung der in Studie III betrachteten Daten

Die Überprüfung dieser Voraussetzungen hat ergeben, dass sie in nur einem Punkt erfüllt sind. Genauer kann lediglich die erste Voraussetzung bestätigt werden. Da die betrachteten Merkmale auf Verhältnisskalen erfasst wurden, sind die verwendeten Daten numerisch und die Abstände zwischen den Werten interpretierbar. Die zweite und dritte Voraussetzung können dagegen nur teilweise bestätigt werden. Ein linearer Zusammenhang ist nur bei einem der drei betrachteten Merkmalspaare optisch zu erkennen (vgl. Abb. 7.2 bis 7.4). Überdies weist einer der vier betrachteten Datensätze einen Ausreißer auf (s. Abb. 7.1). Die vierte Voraussetzung kann wiederum nicht überprüft werden, weil der Umfang der verwendeten Datensätze hierfür zu klein ist.

Die von Hemmerich (2024b) aufgeführten Voraussetzungen können somit nicht vollständig bestätigt werden. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die Produkt-Moment-Korrelation die Stärke der in Frage stehenden Zusammenhänge zutreffend beschreibt. Aus diesem Grund wird in der folgenden Analyse darauf verzichtet, den Betrag der Produkt-Moment-Korrelation zu interpretieren.

	Produkt-Moment-Korrelation r	Signifikanzwert p
Distraktion (gesamt)	-0,36	0,142
Distraktion mit SP	-0,46	0,055
Leerlauf-Tätigkeiten mit SP	0,03	0,917

Tabelle 7.1: Produkt-Moment-Korrelationen für den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Maßen des nicht-lernbezogenen Verhaltens und dem Fachwissenszuwachs. Die Berechnung der p -Werte erfolgte auf Basis der zweiseitigen t -Verteilung.

Stattdessen wird lediglich die Existenz und Richtung der möglichen Zusammenhänge beurteilt.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Hauptanalyse

Der Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraktion an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs ist in Abbildung 7.2 dargestellt. Die Punktwolke zeigt eine breite Streuung in den ersten drei Wertebereichen der Distraktion – dem Bereich der Codeabdeckung von 0% bis 5%, von 5% bis 10% und von 10% bis 15%. Innerhalb dieser Bereiche, in denen 15 der insgesamt 18 Punkte liegen, lässt sich kein eindeutiger Trend hinsichtlich der Richtung des Zusammenhangs zwischen Distraktion und Fachwissenszuwachs erkennen. Dieser könnte sowohl positiv als auch negativ sein. Ergänzt werden die Punkte in den ersten drei Wertebereichen durch je einen Punkt im Bereich der Distraktion mit Codeabdeckung von 15% bis 20%, von 20% bis 25% und von 40% bis 45%. Die Verteilung dieser Punkte variiert ebenfalls ohne erkennbaren Trend. Die Produkt-Moment-Korrelation (s. Tabelle 7.1) bestätigt diese optische Einschätzung. Sie unterscheidet sich nicht signifikant von Null. Dies gilt sowohl unter Berücksichtigung des Signifikanzniveaus von 5% als auch unter Berücksichtigung des erhöhten Signifikanzniveaus von 10%.

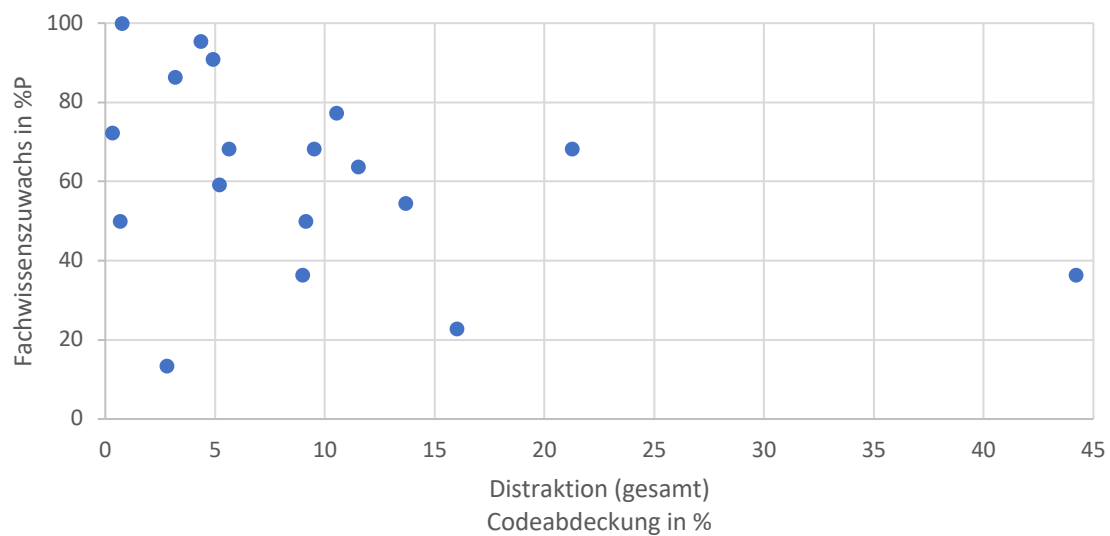


Abbildung 7.2: Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs

Der Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction mit Smartphone-Bezug an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs ist in Abbildung 7.3 dargestellt. Die Punktwolke zeigt eine breite Streuung im ersten Wertebereich der smartphonebezogenen Distraction – dem Bereich der Codeabdeckung von 0% bis 2%. Im Gegensatz zur Punktwolke mit den Daten der Gesamtdistraction ist in den übrigen Bereichen allerdings keine breite Streuung zu erkennen. Hier liegen die Punkte annähernd auf einer fallenden Geraden, die auf einen negativen Zusammenhang schließen lässt. Unter Berücksichtigung des Signifikanzniveaus von 5% unterscheidet sich die betreffende Produkt-Moment-Korrelation (s. Tabelle 7.1) jedoch nicht signifikant von Null. Unter Berücksichtigung des erhöhten Signifikanzniveaus von 10% ist eine statistische Signifikanz hingegen gegeben. In diesem Fall wird der optisch bereits vermutete negative Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs statistisch gestützt.

Der Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen und dem Fachwissenszuwachs ist in Abbildung 7.4 dargestellt. Die Punktwolke ist über zwei Wertebereiche der smartphonebezogenen Leerlauf-Tätigkeiten verteilt. So liegen einige Punkte im Bereich der Codeabdeckung von 0% bis 30%, während andere Punk-

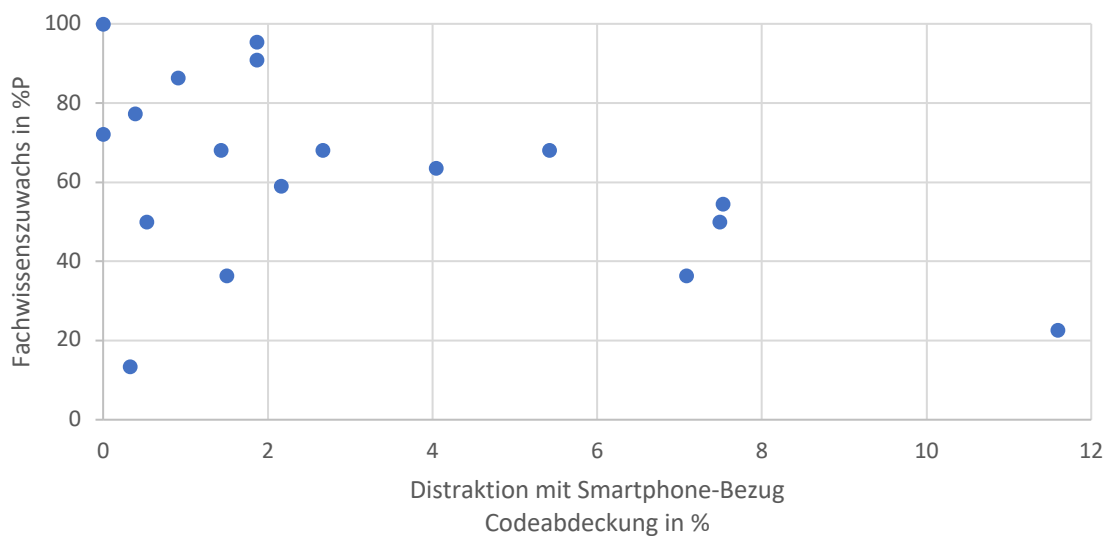


Abbildung 7.3: Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction mit Smartphone-Bezug an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs

te im Bereich der Codeabdeckung von 50% bis 90% liegen. In beiden Bereichen ist eine breite Streuung zu erkennen. Aus der Punktwolke lässt sich somit kein Zusammenhang zwischen den smartphonebezogenen Leerlauf-Tätigkeiten und dem Fachwissenszuwachs ableiten. Diese optische Einschätzung wird durch die Produkt-Moment-Korrelation (s. Tabelle 7.1) bestätigt, die sich nicht signifikant von Null unterscheidet. Dies gilt sowohl unter Berücksichtigung des Signifikanzniveaus von 5% als auch unter Berücksichtigung des erhöhten Signifikanzniveaus von 10%.

7.3.2 Post-hoc-Analyse

Um zu prüfen, ob die hohen p-Werte bei der Identifikation eines möglichen Zusammenhangs zwischen den betrachteten Merkmalen auf eine unzureichende Teststärke zurückzuführen sind, wurde eine Teststärkenanalyse durchgeführt. Die betreffenden Ergebnisse sind in Tabelle 7.2 dargestellt. Nach Döring und Bortz (2016) gilt eine Teststärke von mindestens 80% als ausreichend. Dieser Grenzwert ist ausschließlich für Zusammenhänge mit $|r| \geq 0,55$ erfüllt. Eine hinreichende Teststärke ist in der vorliegenden Analyse somit nur für zu identifizierende Zusammenhänge gegeben, die über das von Cohen (1988) festgelegte Mindestmaß für starke Zusammenhänge hinausgehen.

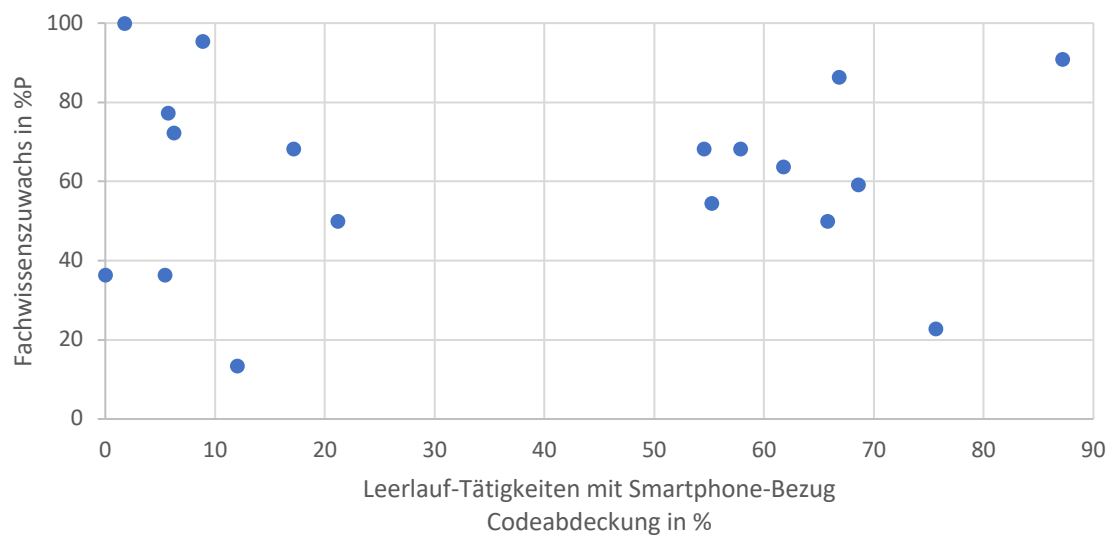


Abbildung 7.4: Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen und dem Fachwissenszuwachs

Teststärke für kleinen Zusammenhang $ r = 0,10$	Teststärke für mittleren Zusammenhang $ r = 0,30$	Teststärke für starken Zusammenhang I $ r = 0,50$	Teststärke für starken Zusammenhang II $ r = 0,55$
13%	34%	71%	80%

Tabelle 7.2: Teststärken zur Anwendung der Produkt-Moment-Korrelation zur Identifikation der möglichen Zusammenhänge zwischen den betrachteten Verhaltensmerkmalen und dem Fachwissenszuwachs. Die Kategorisierung der Stärke der betrachteten Zusammenhänge entspricht den Angaben von Cohen (1988). Die Berechnung der Teststärken erfolgte unter Anwendung des Poweranalyse-Rechners von Hemmerich (2018). Dabei wurde die Stichprobengröße $n = 18$ und das Signifikanzniveau $\alpha = 0,10$ zugrunde gelegt.

7.4 Diskussion

Studie III vervollständigt die angestrebte Ergründung des Ausbleibens bereitstellungsspezifischer Auswirkungen auf die Lernleistung in Studie I (s. Kapitel 5). Sie untersucht den Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und der Lernleistung und ergänzt somit die Gegenüberstellung von Bereitstellungsformen auf Basis des nicht-lernbezogenen Verhaltens in Studie II (s. Kapitel 6). Dabei vermeidet sie Defizite von Vorgängerstudien (insb. von Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012) und betrachtet neben dem Distraktionsverhalten auch die zuvor unberücksichtigten Leerlauf-Tätigkeiten. Darüber hinaus wahrt sie ein hohes Maß an Konsistenz, indem sie Daten verwendet, die auch in den Studien I und II verwendet wurden. So wird die Lernleistung über den Fachwissenszuwachs und das nicht-lernbezogene Verhalten über den zeitlichen Anteil des allgemeinen und smartphonebezogenen Distraktionsverhaltens an den inhaltlichen Arbeitsphasen und den zeitlichen Anteil der smartphonebezogenen Tätigkeiten an den Leerlauf-Phasen bestimmt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie geben keine Hinweise darauf, dass das allgemeine Distraktionsverhalten ein geeignetes Maß zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung darstellt. Sie stehen somit in Kontrast zu den Ergebnissen vorheriger Studien (s. Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012), die einen Zusammenhang zwischen Distraction und Lernleistung nahelegen. Darüber hinaus unterscheiden sie sich von den Vorhersagen von kognitiven Modellen (s. Salvucci & Taatgen, 2008; Sweller, 1988; Wickens, 2002), die eine Begrenzung verfügbarer Verarbeitungskapazitäten vorsehen.

Hinsichtlich des Distraktionsverhaltens mit Smartphone-Bezug lässt sich auf Basis der vorliegenden Ergebnisse allerdings ein negativer Zusammenhang mit dem Fachwissenszuwachs erkennen. Dies gilt sowohl für die optische Beurteilung der Datenpunkte als auch für die Interpretation der Produkt-Moment-Korrelation unter Berücksichtigung des erhöhten Signifikanzniveaus von 10%. Die vorliegenden Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass die Distraction mit Smartphone-Bezug ein geeignetes Maß zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung sein könnte.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen zum Distraktionsverhalten und dessen Teilkomponente mit Smartphone-Bezug könnten auf die Vorgehensweise bei der Identifikation der Verhaltensmerkmale zurückzuführen sein. Der hier-

für verwendete Codierleitfaden (einsehbar in Anhang 8.9) sieht vor, dass alle Handlungen, die nicht lernbezogen sind, zunächst als Distraction kategorisiert werden. Diese Kategorisierung beinhaltet keine Einschätzung darüber, ob die betreffende Handlung mit einer Störung des Lernprozesses einhergeht oder nicht. Dass eine Störung eintritt, ist jedoch nicht zwangsläufig zu erwarten. Aus dem Multiple Ressource Modell von Wickens (2002) lässt sich beispielsweise ableiten, dass Lernende gleichzeitig ihre Kamerabrille bewegen und einem Lehrvortrag folgen können. Das Modell geht davon aus, dass unterschiedliche kognitive Strukturen für unterschiedliche Verarbeitungsprozesse existieren und gleichzeitig verfügbar sind. Unter dieser Prämisse ist es denkbar, dass Lernende gleichzeitig auditive Stimuli entschlüsseln und manuelle Handlungen ausführen können. Dies wird jedoch nicht im Codierleitfaden berücksichtigt. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit sieht dieser vor, dass alle Handlungen, die nicht den vorgesehenen Lernaktivitäten entsprechen, als Distaktionsverhalten kategorisiert werden. Zu diesen Handlungen zählt auch das Bewegen der Kamerabrille. Manche Daten zur Distraction könnten daher mit Handlungen verknüpft sein, die nicht mit einer Störung des Lernprozesses einhergehen. Dies gilt auch für die Daten zur Distraction mit Smartphone-Bezug. Eine denkbare – wenn auch spekulative – Erklärung dafür, dass dennoch ein negativer Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs identifiziert wurde, liegt in der Annahme, dass viele Lernaktivitäten und viele smartphonebezogene Handlungen sprachliche Komponenten beinhalten. Die gleichzeitige Verarbeitung unterschiedlicher sprachlicher Signale ist nach Wickens (2002) allerdings nicht möglich. Ihr Modell legt in Verbindung mit der benannten Annahme also nahe, dass nicht alle Formen der Distraction, insbesondere aber die Distraction mit Smartphone-Bezug, mit einer Störung des Lernprozesses einhergehen.

Der identifizierte Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs ist nicht nur im Rahmen der weiterführenden Untersuchung der Ergebnisse von Studie I, sondern auch im Rahmen des regulären Schulunterrichts von Bedeutung, weil er einen Ausgangspunkt zur Formulierung von Handlungsempfehlungen für den digital gestützten Unterricht darstellt. Zwar ist es laut Bortz und Schuster (2010) nicht möglich, von der Existenz eines deskriptiven Zusammenhangs auf die Existenz einer Kausalwirkung zu schließen, dennoch sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen

werden, dass die Distraction mit Smartphone-Bezug kausal zu einer Reduktion der Lernleistung führt. Diese Möglichkeit macht den Einsatz von präventiven Maßnahmen zur Vermeidung dieser Distractionsform unerlässlich. Ansätze dazu, wie dem Auftreten von Distraction mit digitalen Endgeräten entgegengewirkt werden kann, wurden bereits in verschiedenen Studien (s. bspw. Ehrlick, 2014; Flanigan & Babchuk, 2022; Tagsold, 2013) entwickelt. Da sich diese Studien jedoch auf Maßnahmen im Rahmen universitärer Veranstaltungen konzentrieren, bleibt eine weite Forschungslücke für die Entwicklung entsprechender Maßnahmen im Schulunterricht bestehen.

Hinsichtlich der Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug lassen die Ergebnisse keinen Zusammenhang mit dem Fachwissenszuwachs erkennen. Dies gilt sowohl für die optische Beurteilung der Datenpunkte als auch für die Interpretation der Produkt-Moment-Korrelation. Die Ergebnisse sprechen daher nicht für das Eintreten der hypothetischen Wirkungsmechanismen, die in der Einleitung dieser Studie beschrieben wurden. Es ist folglich nicht zu erwarten, dass das Auftreten von smartphonebezogenen Tätigkeiten in Leerlauf-Phasen das Auftreten von smartphonebezogenem Distractionsverhalten in inhaltlichen Arbeitsphasen entweder begünstigt oder einschränkt. Vielmehr könnten diese Wirkungsmechanismen gar nicht oder in gleichem Maße auftreten und sich gegenseitig ausgleichen.

Die Ergebnisse geben somit keinen Hinweis darauf, dass Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug ein geeignetes Maß zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung darstellen. Hieraus sollte jedoch nicht geschlossen werden, dass das Auftreten von Leerlauf-Phasen unerheblich und ihre Überbrückung mit smartphonebezogenen Tätigkeiten zu tolerieren sei. Die nicht-lernbezogene Verwendung digitaler Endgeräte könnte zwar der von Imeraj et al. (2016) beobachteten Zunahme von Hyperaktivität und störendem Sozialverhalten in Leerlauf-Phasen entgegenwirken, entspricht aber nicht der dringenden Empfehlung verschiedener Autoren (s. bspw. Hattie & Yates, 2013; Helmke, 2022; Meyer, 2014) die aktive Lernzeit im Unterricht zu erhöhen. Anstatt es den Lernenden freizustellen, ihre digitalen Endgeräte in entsprechender Weise zu nutzen, sollten Lehrende daher zusätzliche Lernangebote zur Überbrückung von Leerlauf-Phasen bereitstellen und Lernende zu deren Bearbeitung verpflichten.

Die vorliegende Studie unterliegt jedoch Limitationen, die unter anderem damit zu begründen sind, dass lediglich achtzehn Lernende in die Analyse einbe-

zogen wurden. Aufgrund der geringen Anzahl verfügbarer Datenpunkte wurde der Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs unter Berücksichtigung des erhöhten Signifikanzniveaus von 10% beurteilt. Die Wahrscheinlichkeit, dass hierbei ein Zusammenhang identifiziert wurde, der in Wirklichkeit nicht besteht, entspricht somit dem gleichen erhöhten Wert. Darüber hinaus zeigt die Post-hoc-Analyse, dass ausschließlich starke Zusammenhänge mit hinreichender Wahrscheinlichkeit durch die angewendete Analyse identifiziert werden können. Es ist daher möglich, dass es Zusammenhänge zwischen der allgemeinen Distraction und der Lernleistung, beziehungsweise zwischen den Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug und der Lernleistung gibt, die im Rahmen der vorliegenden Analyse nicht identifiziert werden konnten.

Zukünftige Studien könnten diese Limitationen umgehen, indem sie äquivalente Analysen auf Basis wesentlich größerer Stichproben durchführen. Der erhebliche Aufwand für die Codierung der Verhaltensmerkmale könnte dabei durch andere Formen der Datenerhebung umgangen werden. In Anlehnung an Zureick et al. (2018) könnten beispielsweise Einschätzungen der Lernenden zu ihrem Verhalten in inhaltlichen Arbeitsphasen und in Leerlauf-Phasen erhoben werden. Auf diese Weise könnte eine weitere Limitation umgangen werden, die bereits in Studie II thematisiert wurde. Diese Limitation besteht in der ausschließlichen Erfassung sichtbarer Distaktionsformen. Da nicht-sichtbare Distaktionsformen wie das Tagträumen nicht durch die Videoanalyse in Studie II erfasst werden konnten, wurden sie in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt.

Die vorliegende Studie leistet trotz der identifizierten Limitationen einen wertvollen Beitrag zur Ergänzung der bestehenden Studienlage. Im Gegensatz zu ihren Vorgängerstudien (genauer Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012) liefert sie Hinweise darauf, dass nicht alle Formen der Distraction in gleicher Weise mit der Lernleistung zusammenhängen. Sie schafft somit eine Grundlage zur differenzierten Betrachtung unterschiedlicher Formen der Distraction und eröffnet dadurch neue Forschungsperspektiven. Im Rahmen der angestrebten Ergründung der Ergebnisse von Studie I hat sie einen hohen Stellenwert, weil sie Hinweise darauf gibt, welche der in Studie II betrachteten Merkmale ein geeignetes Maß zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung sein könnten. Ob und inwiefern die Ergebnisse zu einer Neubewertung

von Studie II führen, wird in der allgemeinen Diskussion (s. Kapitel 8) beurteilt.

8 Allgemeine Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit – die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Auswirkungen unterschiedlicher Formen der Bereitstellung digitaler Endgeräte auf das Lernen – ist durch die Forderung (s. KMK, 2022) motiviert, den schulischen Unterricht durch den Einsatz digitaler Lernmedien zu unterstützen. Dass der Zugang zu digitalen Lernmedien im Unterricht für alle Lernenden möglich sein soll, ist in Deutschland bereits in den bildungspolitischen Leitlinien (s. KMK, 2017) verankert. Offen bleibt jedoch, wie die dafür notwendigen digitalen Endgeräte bereitgestellt werden sollen.

Für die Bereitstellung digitaler Endgeräte gibt es ein breites Spektrum unterschiedlicher Konzepte. An den Endpunkten dieses Spektrums stehen die Bereitstellungsformen BYOD und Pool. BYOD – Bring Your Own Device – verpflichtet die Lernenden und ihre Familien dazu, die für den Unterricht notwendigen Endgeräte bereitzustellen. Die Lernenden verwenden ein persönliches Gerät, das sie selbst auswählen, finanzieren, warten und unbegrenzt nutzen können. Pool – Gerätepool – verpflichtet die Schulen zur Bereitstellung der notwendigen Endgeräte. Sie entscheiden über deren Auswahl und stellen die notwendigen Mittel zur Finanzierung und Wartung zur Verfügung. Die Geräte werden hierbei zeitlich begrenzt für ausgewählte Lernaktivitäten ausgegeben (Krause, 2022).

Bei der Entscheidung darüber, welche Bereitstellungsform etabliert werden sollte, sind die jeweiligen Vor- und Nachteile abzuwägen. Aus didaktischer Perspektive sind die dafür notwendigen Informationen bislang jedoch nicht verfügbar. Aus dieser Perspektive kommt der Lernleistung eine zentrale Bedeutung zu. Studien über die Ausprägung der Lernleistung in klar definierten Bereitstellungskontexten (s. bspw. Adhikari et al., 2017; Schellenberg, 2018; Song & Ku, 2016) beschränkten sich in der Vergangenheit auf die Bereitstellungsform BYOD. Der Nutzen, der in diesen Studien nachgewiesen wird, kann daher nicht eindeutig auf die Bereitstellungsform zurückgeführt werden. Eine ausreichende

wissenschaftliche Basis für die Empfehlung der einen oder anderen Bereitstellungsform bestand bislang somit nicht.

Die Forschungslücke bildet den Ausgangspunkt für das Forschungsverbundprojekt *smart for science*, das die Bereitstellungsformen BYOD und Pool anhand lernrelevanter Merkmale vergleicht. Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen dieses Projekts entstanden. Ihr Fokus liegt auf der Lernleistung, die im Sinne der eingenommenen Perspektive als Grundlage zur Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen herangezogen wird. Um die gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen, wird zusätzlich das nicht-lernbezogene Verhalten betrachtet. In zwei Schritten wird dabei analysiert, inwiefern bereitstellungsspezifische Auswirkungen auf das nicht-lernbezogene Verhalten erkennbar sind und inwiefern ein Zusammenhang zwischen dem nicht-lernbezogenen Verhalten und der Lernleistung besteht.

Der Datenpool, der für die Analysen der vorliegenden Arbeit verwendet wird, ist ein Produkt von *smart for science*. Die zugrunde liegende Untersuchung wurde im Rahmen der hier vorgestellten Promotionsleistung mitkonzipiert und durchgeführt. Sie folgt einem quasi-experimentellen Design, in dem Lernende der achten und neunten Klassenstufe jeweils auf zwei experimentelle Bedingungen verteilt wurden. In der BYOD-Bedingung führten die Lernenden einen digital gestützten Workshop mit ihren persönlichen Smartphones durch. In der Pool-Bedingung führten die Lernenden denselben Workshop mit Smartphones durch, die vom Forschungsteam bereitgestellt wurden. Die Workshops wurden durch eine Datenerhebung ergänzt, die Paper-Pencil-Befragungen und Videoaufzeichnungen beinhaltete.

Die Analysen der vorliegenden Arbeit basieren ausschließlich auf Daten, die den *smart for science* Workshops des Fachs Chemie zugeordnet werden können. In Studie I (s. Kapitel 5) werden die Daten der Prä- und Post-Fachwissenstests betrachtet. Anhand statistischer Methoden wird der Fachwissenszuwachs der 161 Lernenden in der BYOD-Gruppe und der Fachwissenszuwachs der 156 Lernenden in der Pool-Gruppe geprüft und verglichen. Dabei werden die Testergebnisse der Gesamtstichprobe, die aufgabenspezifischen Testergebnisse der Gesamtstichprobe und die Testergebnisse merkmalspezifischer Teilstichproben betrachtet. Der identifizierte hohe Fachwissenszuwachs in der BYOD-Gruppe steht im Einklang mit den Studien (s. Adhikari et al., 2017; Schellenberg, 2018; Song & Ku, 2016), die dieser Bereitstellungsform eine hohe Lernwirksamkeit

zuschreiben. Ein hoher Fachwissenszuwachs konnte jedoch auch in der Pool-Gruppe festgestellt werden. Signifikante Gruppenunterschiede wurden – mit einer Ausnahme – nicht identifiziert. Bei dieser Ausnahme handelt es sich um ein aufgabenspezifisches Ergebnis, das einen höheren Fachwissenszuwachs in der Pool-Gruppe nachweist. Dass grundlegende Unterschiede in der Lernwirksamkeit zwischen BYOD und Pool bestehen, zeigt sich bei der betrachteten Stichprobe jedoch nicht. In diesem Punkt stützt die vorliegende Arbeit die Ergebnisse der anderen Projektmitglieder von *smart for science* (s. Krause, 2022; Krause et al., 2022; Krause et al., 2024; Laumann et al., 2024), die ebenfalls keine Hinweise auf grundlegende Unterschiede in der Lernwirksamkeit der betrachteten Bereitstellungsformen finden.

Die Ergebnisse sind als Erleichterung von Entscheidungen über zu etablierende Bereitstellungsformen zu werten. Das Ausbleiben von Hinweisen darauf, dass Lernende im Kontext von BYOD oder Pool grundsätzlich bessere Lernleistungen erzielen, steht im Widerspruch zur Vorstellung, dass die Bereitstellungsform eine Stellschraube für den Lernerfolg darstellt, und ebnet den Weg für die Berücksichtigung der vielfältigen finanziellen (s. Bruder, 2014; Dixon & Tierney, 2012; Johnson, 2012; Nelson, 2012), sozialen (s. Parsons & Adhikari, 2016), gesundheitlichen (s. Merga, 2016) und organisatorischen (s. Burden et al., 2012; Maher & Twining, 2017; Nuholu Kibar et al., 2020) Vor- und Nachteile, die mit den jeweiligen Bereitstellungsformen verbunden sind. Da die Bedeutsamkeit dieser Kriterien mit lokal unterschiedlichen Ressourcen zusammenhängt, wird hier empfohlen, von der Formulierung starrer politischer Vorgaben – etwa auf Länderebene – abzusehen. Vielmehr sollten Entscheidungen über die Bereitstellung digitaler Endgeräte auf Schulebene getroffen werden. Dabei sind sowohl die sozioökonomischen Verhältnisse im Einzugsgebiet als auch die personellen und finanziellen Mittel der Schule zentral.

Um die Ergebnisse der Gegenüberstellung von BYOD und Pool auf Grundlage der Lernleistung weiter zu beleuchten, wird das Verhalten der Lernenden beider Gruppen in zwei Folgestudien untersucht. Dabei wird die Befürchtung (s. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) herangezogen, dass die Bereitstellungsform BYOD das Auftreten von Distraction begünstigen könnte. In Anbetracht dieser Befürchtung erscheint das Ergebnis von Studie I überraschend. So wäre zu vermuten, dass die Lernenden in der Pool-Gruppe grundsätzlich höhere Lernleistungen erzielen. Die Diskrepanz zwischen dieser

Vermutung und dem tatsächlichen Ergebnis wird hier zum Anlass genommen, das Distraktionsverhalten zu untersuchen. In Studie II (s. Kapitel 6) erfolgt daher eine Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen auf Grundlage des nicht-lernbezogenen Verhaltens. Neben der Distraction werden dabei auch Leerlauf-Tätigkeiten betrachtet.

Die Gegenüberstellung der Bereitstellungsformen auf Grundlage des nicht-lernbezogenen Verhaltens erfolgt im Rahmen einer vergleichenden Fallanalyse nach Yin (2018). Dabei wird evaluiert, ob die betrachteten Daten darauf hindeuten, dass persönliche Endgeräte ein hohes motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Nutzung haben und dass temporär ausgehändigte Endgeräte im Gegensatz dazu ein niedriges motivationales Potenzial zur nicht-lernbezogenen Nutzung haben. Die Verhaltensmuster, die bei dieser Analyse in den Blick genommen werden, wurden im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) anhand des Videomaterials ausgewählter Lernender identifiziert. Sie werden durch vielfältige quantitative Daten zu den zeitlichen Anteilen des nicht-lernbezogenen Verhaltens an den zugrunde liegenden Unterrichtsphasen charakterisiert. Diese Daten zeigen, dass die betrachteten Lernenden das Smartphone in nicht-lernbezogener Weise nutzen und dass sowohl hinsichtlich des zeitlichen Umfangs als auch hinsichtlich des Zeitpunkts dieser Nutzung deutliche individuelle Unterschiede bestehen. Dies gilt sowohl für die Lernenden aus der BYOD-Gruppe als auch für die Lernenden aus der Pool-Gruppe. Die Verhaltensmuster zeigen somit keine Vereinbarkeit mit der Annahme, dass das motivationale Potenzial zur nicht-lernbezogenen Nutzung digitaler Endgeräte bereitstellungsspezifisch ist. Dass sich BYOD und Pool in unterschiedlicher Weise auf das nicht-lernbezogene Verhalten auswirken ist in der betrachteten Stichprobe somit nicht zu erkennen. Die Ergebnisse sind vielmehr mit der Auffassung vereinbar, dass digitale Endgeräte nicht Ursache, sondern Mittel zum nicht-lernbezogenen Verhalten sind.

Das Verständnis von digitalen Endgeräten als Mittel zum nicht-lernbezogenen Verhalten steht im Einklang mit den Studien (s. Boekaerts et al., 2006; Dowson & McInerney, 2003; Wentzel, 1989), die dem nicht-lernbezogenen Verhalten eine Funktion zuordnen. Diese Funktion kann beispielsweise im Genuss von Unterhaltung (s. Boekaerts et al., 2006), im Erhalt von Freundschaften (s. Wentzel, 1989) oder im Erreichen eines hohen Gruppenstatus (s. Dowson & McInerney, 2003) bestehen. Im Rahmen dieser Auffassung stellt die Bereitstellungsform

keine geeignete Stellschraube dar, um dem Auftreten von nicht-lernbezogenem Verhalten entgegenzuwirken. Vielmehr steht hier die Qualität des Unterrichts – insbesondere die Gestaltung der Lernaktivitäten und der pädagogischen Arbeit – im Vordergrund.

Die Ergebnisse von Studie II dienen jedoch nur dann als möglicher Erklärungsansatz für das Ausbleiben bereitstellungsspezifischer Auswirkungen auf die Lernleistung in Studie I, wenn das nicht-lernbezogene Verhalten mit der Lernleistung zusammenhängt. Inwiefern dies zutrifft wird in Studie III (s. Kapitel 7) analysiert. Sie ergänzt die bereits bestehende Studienlage, weil sie Defizite von Vorgängerstudien (s. Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012) vermeidet und neben dem Distraktionsverhalten auch die bisher unberücksichtigten Leerlauf-Tätigkeiten betrachtet.

Die Analyse basiert einerseits auf den Daten zum Fachwissenszuwachs und andererseits auf den Daten zum nicht-lernbezogenen Verhalten. Die Existenz eines möglichen Zusammenhangs zwischen diesen Daten wird anhand von Punktwolken und Produkt-Moment-Korrelationen beurteilt. Dabei wird ein Zusammenhang zwischen der Distraction mit Smartphone-Bezug und dem Fachwissenszuwachs identifiziert, jedoch kein Zusammenhang zwischen der allgemeinen Distraction und dem Fachwissenszuwachs oder zwischen den Leerlauf-Tätigkeiten und dem Fachwissenszuwachs. Mit Studie III liefert die vorliegende Arbeit somit Hinweise darauf, dass die Distraction mit Smartphone-Bezug ein geeignetes Maß zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung darstellt, jedoch keine Hinweise darauf, dass dies auch für die Distraction im Allgemeinen oder für Leerlauf-Tätigkeiten gilt.

Dass die Analyse keinen grundsätzlichen Zusammenhang zwischen Distraction und Lernleistung zeigt, steht in Kontrast zu den Ergebnissen vorhergehender Studien (s. Cocea et al., 2009; Godwin et al., 2021; Roberge et al., 2012). Der zugrunde liegende Befund könnte auf die Vorgehensweise bei der Identifikation von Verhaltensmerkmalen im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse in Studie II zurückzuführen sein. Der dabei verwendete Codierleitfaden sieht entsprechend der zugrunde liegenden Begriffsdefinition (vgl. Kapitel 2.1.1) vor, dass alle Handlungen, die nicht den vorgegebenen Lernaktivitäten entsprechen, als Distraction identifiziert werden. Anhand des Multiple Ressource Modells von Wickens (2002) wird jedoch deutlich, dass nicht alle Distractionshandlungen grundsätzlich mit einer Störung von Lernprozessen einhergehen. So legt das

Modell in Kombination mit der Annahme, dass viele Lernaktivitäten und viele smartphonebezogene Handlungen sprachliche Anteile haben, nahe, dass nicht alle Formen der Distraction in gleicher Weise mit der Lernleistung zusammenhängen.

Eine Neubewertung von Studie II wird durch das Ausbleiben von Hinweisen auf die Eignung der allgemeinen Distraction und der Leerlauf-Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug als Maße zur Erklärung von Variationen in der Lernleistung allerdings nicht gerechtfertigt. Beide Verhaltensmerkmale stellen im Rahmen der erbrachten Fallanalyse wichtige Grundlagen für die Überprüfung von bereitstellungsspezifischen Annahmen dar. Im Einzelnen dienen sie der Einschätzung des motivationalen Potenzials zum nicht-lernbezogenen Verhalten, der Überprüfung der Existenz einheitlicher Verhaltenstendenzen und der Kontrastierung der Distraction mit Smartphone-Bezug. Im Rahmen der dargelegten Argumentation haben sie somit wichtige Funktionen.

Die Tatsache, dass Studie II lediglich auf achtzehn Lernenden basiert, schränkt ihre Verallgemeinerbarkeit jedoch ein. Sie beinhaltet keinen statistischen Vergleich auf Basis einer großen Stichprobe und kann daher nicht direkt auf die Befürchtung (s. Bruder, 2014; Hockly, 2012; Kiger & Herro, 2015; Nelson, 2012) eingehen, dass die Bereitstellungsform BYOD das Auftreten von Distraction begünstigt. Stattdessen wird im Rahmen der vergleichenden Fallanalyse nach Hinweisen darauf gesucht, dass Unterschiede im motivationalen Potenzial zur nicht-lernbezogenen Verwendung von digitalen Endgeräten bestehen. Eine Ergänzung von Studie II durch ähnliche Studien oder solche mit größeren Stichproben ist daher wünschenswert. Gleiches gilt für Studie III, bei der die geringe Anzahl an Datenpunkten zu einer größeren Unsicherheit bei der Interpretation der Ergebnisse führt.

Eine weitere Limitation von Studie II, die auch in Bezug auf Studie I im Vordergrund steht, resultiert aus der Simulation der Bereitstellungsform Pool. Gemäß einer projektinternen Festlegung wurden die Lernenden der entsprechenden Gruppe mit Smartphones ausgestattet, deren Betriebssystem demjenigen des persönlichen Smartphones entspricht. Es ist jedoch denkbar, dass die Vertrautheit mit dem Betriebssystem für die Bedienung digitaler Endgeräte und damit für die Lernleistung relevant ist. So könnte eine mangelnde Vertrautheit mit einem Betriebssystem die nicht-lernbezogene Verwendung der Endgeräte weniger attraktiv machen. Andernfalls könnte sie zu Frustration bei digital gestützten

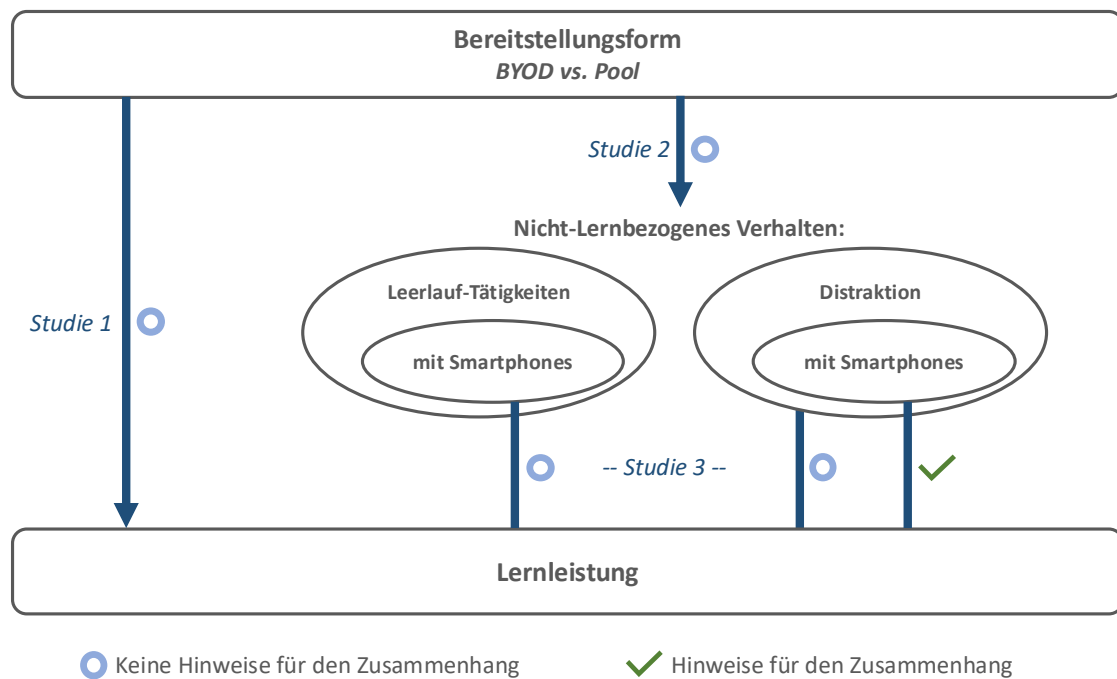


Abbildung 8.1: Ergebnisübersicht

Lernaktivitäten führen und die nicht-lernbezogene Verwendung der Endgeräte motivieren.

Hinsichtlich aller drei Studien besteht eine Limitation darin, dass ausschließlich Smartphones eingesetzt wurden. Da Laptops oder Tablets einen anderen Nutzungsumfang bieten (s. Dixon & Tierney, 2012), können die vorliegenden Ergebnisse nicht direkt auf diese Gerätetypen übertragen werden. Für zukünftige Studien besteht somit weiterer Analysebedarf.

Eine abschließende Beurteilung der Bereitstellungsformen kann folglich nur auf Basis einer umfassenderen Datenbasis erfolgen. Die vorliegende Arbeit stellt einen Baustein in dieser Datenbasis dar. Aus ihren Ergebnissen (zusammengefasst in Abbildung 8.1) lassen sich keine Hinweise darauf ableiten, dass die Bereitstellungsform aus didaktischer Perspektive eine wesentliche Stellschraube im digital gestützten Unterricht darstellt. Aus dieser Perspektive ist vielmehr der zielgerichtete Einsatz digitaler Lernmedien relevant. Dieser sollte gemäß den bildungspolitischen Vorgaben in Deutschland (s. KMK, 2022) dem Erwerb digitaler Kompetenzen, der Aneignung von fachbezogenem Wissen, der Individualisierung und dem Abbau von Lernbarrieren dienen.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

- Aagaard, J. (2015). Drawn to distraction: A qualitative study of off-task use of educational technology. *Computers & Education*, 87, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.010>
- Aaron, L. & Lipton, T. (2018). Digital Distraction: Shedding Light on the 21st-Century College Classroom. *Journal of Educational Technology Systems*, 46(3), 363–378. <https://doi.org/10.1177/0047239517736876>
- Adhikari, J., Scogings, C., Mathrani, A. & Sofat, I. (2017). Evolving digital divides in information literacy and learning outcomes: A BYOD journey in a secondary school. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 34(4), 290–306. <https://doi.org/10.1108/IJILT-04-2017-0022>
- Adler, R. F. & Benbunan-Fich, R. (2013). Self-interruptions in discretionary multitasking. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.040>
- Agaard, J. (2019). Multitasking as distraction: A conceptual analysis of media multitasking research. *Theory & Psychology*, 29(1), 87–99. <https://doi.org/10.1177/0959354318815766>
- Al-Furaih, S. A. & Al-Awidi, H. M. (2021). Fear of missing out (FoMO) among undergraduate students in relation to attention distraction and learning disengagement in lectures. *Education and Information Technologies*, 26(2), 2355–2373. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10361-7>
- Alvarez, R., López, A. & De la Torre, N. (2015). Evaluating the effect of a drivers behaviour on the range of a battery electric vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 229(10), 1379–1391. <https://doi.org/10.1177/0954407014561483>

- American Automobile Association. (2019). *AAA electric vehicle range testing - AAA proprietary research into the effect of ambient temperature and HVAC use on driving range and MPGe* (Techn. Ber.). <https://www.aaa.com/AAA/common/AAR/files/AAA-Electric-Vehicle-Range-Testing-Report.pdf>
- Arnesen, T., Arnesen, T.-E. & Elstad, E. (2020). Exploring students' explanations for off-task practices in an innovative learning environment (ILE) using a typology of agency as theoretical framework. *Pedagogy, Culture & Society*, 29(4), 651–668. <https://doi.org/10.1080/14681366.2020.1777461>
- Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. T. & Sieve, B. (Hrsg.). (2010). *Chemie heute Sekundarstufe I: Nordrhein-Westfalen*. Braunschweig, Bildungshaus Schulbuchverlage.
- Atkinson, J. W. & Birch, D. (1970). *The Dynamics of Action*. New Jersey, Wiley.
- Attia, N. A., Baig, L., Marzouk, Y. I. & Khan, A. (2017). The potential effect of technology and distractions on undergraduate students concentration. *Pakistan journal of medical sciences*, 33(4), 860–865. <https://doi.org/10.12669/pjms.334.12560>
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(24), 13468–13472. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.24.13468>
- Badin, F., Le Berr, F., Briki, H., Dabadie, J., Petit, M., Magand, S. & Condemine, E. (2013). Evaluation of EVs energy consumption influencing factors, driving conditions, auxiliaries use, driver's aggressiveness. *World Electric Vehicle Journal*, 6(1), 112–123. <https://doi.org/10.3390/wevj6010112>
- BASF. (2021). Lithium-Ionen-Batterien - wie funktionieren sie eigentlich? [Online Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=NnxU5eHG8FI>
- Batch, B., Roberts, J., Nakonechnyi, A. & Allen, R. (2021). Cell Phones Under the Table: Meeting Students Needs to Reduce Off-Task Smartphone Use Through Faculty–Student Collaboration. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(4), 487–500. <https://doi.org/10.1177/0047239520985449>
- Beland, L.-P. & Murphy, R. (2016). Ill Communication: Technology, distraction & student performance. *Labour Economics*, 41, 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2016.04.004>

- Beranuy, M., Oberst, U., Carbonell, X. & Chamarro, A. (2009). Problematic Internet and mobile phone use and clinical symptoms in college students: The role of emotional intelligence. *Computers in human behavior*, 25(5), 1182–1187. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.03.001>
- Berry, M. J. & Westfall, A. (2015). Dial D for distraction: The making and breaking of cell phone policies in the college classroom. *College Teaching*, 63(2), 62–71. <https://doi.org/10.1080/87567555.2015.1005040>
- Bertelsmann Stiftung. (2019). *Individuell fördern mit digitalen Medien* (3. Aufl.). Gütersloh, Verlag Bertelsmann Stiftung.
- Betzold Verlag. (2020). Unterrichtsmethoden: Das Gruppenpuzzle [Website]. <https://www.betzold.de/blog/gruppenpuzzle/>
- Blank, C. & Ammenwerth, E. (2017). Alle mal abstimmen! Thematischer Einstieg bei groSSen Gruppen. *fnma magazin*, 3(2). <https://www.fnma.at/content/download/740/2628?version=3>
- Blasiman, R. N., Larabee, D. & Fabry, D. (2018). Distracted Students: A Comparison of Multiple Types of Distractions on Learning in Online Lectures. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, 4(4), 222–230. <https://doi.org/10.1037/stl0000122>
- Boekaerts, M. (2003). Adolescence in Dutch Culture: A Self-Regulation Perspective. In T. Urdan & F. Pajares (Hrsg.), *International Perspectives on Adolescence* (S. 99–122). Information Age Publishing.
- Boekaerts, M., de Koning, E. & Vedder, P. (2006). Goal-Directed behavior and contextual factors in the classroom: An innovative approach to the study of multiple goals. *Educational Psychologist*, 41(1), 33–51. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4101_5
- Boneau, C. A. (1960). The effects of violations of assumptions underlying the t test. *Psychological Bulletin*, 57(1), 49–64. <https://doi.org/10.1037/h0041412>
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Heidelberg, Springer-Verlag.
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L. & Liepmann, D. (2010). *Test d2-R. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Göttingen.
- Brodsky, A. & Amabile, T. M. (2018). The downside of downtime: The prevalence and work pacing consequences of idle time at work. *Journal of*

- Applied Psychology*, 103(5), 496–512. <https://doi.org/10.1037/apl0000294>
- Bruder, P. (2014). Gadgets go to school: The benefits and risks of BYOD (bring your own device). *The Education Digest*, 80(3), 15–18. https://opikeskkonnad.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/bruder_2014_gadgets-go-to-school.pdf
- Bunce, D. M., Flens, E. A. & Neiles, K. Y. (2010). How long can students pay attention in class? A study of student attention decline using clickers. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1438–1443. <https://doi.org/10.1021/ed100409p>
- Burden, K., Hopkins, P., Male, T., Martin, S. & Trala, C. (2012). *iPad Schotland Evaluation* (Techn. Ber.). University of Hull. <https://doi.org/10.13140/2.1.3593.5363>
- Butler, M. J. (2020). Limiting Off-Task Behavior on Laptops in Classrooms Increases Student Engagement: Use It, or They Will Abuse It. In D. A. Alexandrov, A. V. Boukhanovsky, A. V. Chugunov, Y. Kabanov, O. Koltsova & I. Musabirov (Hrsg.), *Digital Transformation and Global Society* (S. 447–459). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65218-0>
- Cagiltay, N. E., Ozcelik, E. & Ozcelik, N. S. (2015). The effect of competition on learning in games. *Computers & Education*, 87, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.04.001>
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1484–1525. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.012>
- Carver, C. S. & Scheier, M. F. (2000). Chapter 3 - On the Structure of Behavioral Self-Regulation. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of Self-Regulation* (S. 41–84). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50032-9>
- Chemie - simpleclub. (2017). Lithium-Ionen-Akku - Der Held des Tages [Online Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=tTDj6sy-Gil>
- Chen, C.-H., Law, V. & Huang, K. (2019). The roles of engagement and competition on learners performance and motivation in game-based science learning. *Educational Technology Research and Development*, 67, 1003–1024. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09670-7>
- Chen, L., Nath, R. & Tang, Z. (2020). Understanding the determinants of digital distraction: An automatic thinking behavior perspective. *Computers in*

- Human Behavior*, 104, 106195. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106195>
- Coceca, M., Hershkovitz, A. & Baker, R. S. J. (2009). The Impact of Off-task and Gaming Behaviors on Learning: Immediate or Aggregate? *Artificial Intelligence in Education*, 200, 507–514. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-028-5-507>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power analysis for the behavioral sciences*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). Quantitative methods in psychology: A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Conway, A. R. A. (1996). Individual Differences in Working Memory Capacity: More Evidence for a General Capacity Theory. *Memory*, 4(6), 577–590. <https://doi.org/10.1080/741940997>
- Criollo-C, S. & Luján-Mora, S. (2018). A SWOT Analysis of Bring Your Own Devices in Mobile Learning. *International Association for Development of the Information Society*, 148–152. https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Criollo-C/publication/327579766_A_SWOT_ANALYSIS_OF_BRING_YOUR_OWN_DEVICES_IN_MOBILE_LEARNING/links/5ec0089e92851c11a86c54fc/A-SWOT-ANALYSIS-OF-BRING-YOUR-OWN-DEVICES-IN-MOBILE-LEARNING.pdf
- Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual Differences in Working Memory and Reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)
- David, P., Kim, J.-H., Brickman, J. S., Ran, W. & Curtis, C. M. (2015). Mobile phone distraction while studying. *new media & society*, 17(10), 1661–1679. <https://doi.org/10.1177/1461444814531692>
- De Cauwer, C., Van Mierlo, J. & Coosemans, T. (2015). Energy consumption prediction for electric vehicles based on real-world data. *Energies*, 8(8), 8573–8593. <https://doi.org/10.3390/en8088573>
- Deng, L., Zhou, Y. & Hu, Q. (2022). Offtask social media multitasking during class: determining factors and mediating mechanism. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(14), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00321-1>

- Dietz, S. & Henrich, C. (2014). Texting as a distraction to learning in college students. *Computers in Human Behavior*, 36, 163–167. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.045>
- Dixon, B. & Tierney, S. (2012). Bring Your Own Device To School [Online Artikel]. https://download.microsoft.com/documents/Australia/EDUCATION/2012008/Bring_your_own_device_to_school_briefing_paper_K-12.pdf
- Dontre, A. J. (2020). The influence of technology on academic distraction: A review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 3(3), 379–390. <https://doi.org/10.1002/hbe2.229>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Heidelberg, Springer.
- Dowson, M. & McInerney, D. M. (2003). What do students say about their motivational goals?: Towards a more complex and dynamic perspective on student motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 28(1), 91–113. [https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(02\)00010-3](https://doi.org/10.1016/S0361-476X(02)00010-3)
- Duncan, D. K., Hoekstra, A. R. & Wilcox, B. R. (2012). Digital Devices, Distraction, and Student Performance: Does In-Class Cell Phone Use Reduce Learning? *Astronomy Education Review*. https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.psu.edu/dist/c/73420/files/2015/09/Duncan_2012_texting-distractions.pdf
- Ehrlick, S. P. (2014). Managing digital distraction: A pedagogical approach for dealing with wireless devices in the classroom. *Journal of teaching and education*, 3(3), 207–216. https://www.researchgate.net/profile/Steven-Ehrlick-2/publication/322665612_Managing_digital_distraction_A_pedagogical_approach_for_dealing_with_wireless_devices_in_the_classroom/links/5a679a590f7e9b76ea8f0579/Managing-digital-distraction-A-pedagogical-approach-for-dealing-with-wireless-devices-in-the-classroom.pdf
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2015). *Statistik und Forschungsmethoden* (4. Aufl.). Basel, Beltz Verlag.
- Emerick, E., Caldarella, P. & Black, S. J. (2019). Benefits and Distractions of Social Media as Tools for Undergraduate Student Learning. *College Student Journal*, 53(3), 265–276. <https://www.ingentaconnect.com/content/purin/csj/2019/00000053/00000003/art00001>

- Engle, R. W., Cantor, J. & Carullo, J. J. (1992). Individual Differences in Working Memory and Comprehension: A Test of Four Hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(5), 972–992. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.18.5.972>
- Evtimov, I., Ivanov, R. & Sapundjiev, M. (2017). Energy consumption of auxiliary systems of electric cars. *MATEC web of conferences*, 133(06002), 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713306002>
- Ewerhart, F. (2014). Wer bremst verliert. Wie funktioniert eigentlich...? [Online Artikel]. <https://www.welt.de/motor/news/article133538115/Wie-funktioniert-eigentlich.html>
- Fahrmeir, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I. & Tutz, G. (2016). *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse* (8. Aufl.). Berlin, Springer Spektrum.
- Feierabend, S., Rathgeb, T., Kheredmand, H. & Glöckler, S. (2020). *JIM-Studie 2020: Jugend, Information, Medien Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger* (Techn. Ber.). Medienpädagogischer Forschungsbund Südwest.
- Feierabend, S., Rathgeb, T., Kheredmand, H. & Glöckler, S. (2022). *JIM-Studie 2022. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger* (Techn. Ber.). Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest.
- Fiat. (2021). Reichweite und Aufladung [Website]. <https://www.fiat.de/elektr/oautos/reichweite-batterie-aufladung>
- Flanigan, A. E. & Babchuk, W. A. (2022). Digital distraction in the classroom: exploring instructor perceptions and reactions. *Teaching in Higher Education*, 27(3), 352–370. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1724937>
- Flanigan, A. E. & Titsworth, S. (2020). The impact of digital distraction on lecture note taking and student learning. *Instructional Science*, 48, 495–524. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09517-2>
- Flick, U. (2020). Gütekriterien qualitativer Forschung. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (2. Aufl., S. 247–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26887-9_30
- Foerde, K., Knowlton, B. J. & Poldrack, R. A. (2006). Modulation of competing memory systems by distraction. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences*, 103(31), 11778–11783. <https://doi.org/10.1073/pnas.0602659103>
- Fries, S., Schmid, S., Dietz, F. & Hofer, M. (2005). Conflicting values and their impact on learning. *European Journal of Psychology of Education*, 20, 259–273. <https://doi.org/10.1007/BF03173556>
- Fries, S., Schmid, S. & Hofer, M. (2007). On the relationship between value orientation, valences, and academic achievement. *European Journal of Psychology of Education*, 22, 201–216. <https://doi.org/10.1007/BF03173522>
- Froese, A. D., Carpenter, C. N., Inman, D. A., Schooley, J. R., Barnes, R. B., Brecht, P. W. & Chacon, J. D. (2012). Effects of classroom cell phone use on expected learning and actual learning. *College Student Journal*, 46(2), 323–332. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=747c5e20646a00b2b48f6303658788bd8a0e714f>
- Gazzaley, A. & Rosen, L. D. (2016). *The Distracted Mind*. London, The MIT Press.
- Gerring, J. (2007). *Case study research. Principles and practices*. Cambridge, Cambridge University Press.
- GFD. (2018). *Fachliche Bildung in der digitalen Welt: Positionspapier der Gesellschaft für Didaktik* (Techn. Ber.). <https://www.fachdidaktik.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/07/GFD-Positionspapier-Fachliche-Bildung-in-der-digitalen-Welt-2018-FINAL-HP-Version.pdf>
- Gillham, B. (2000). *Case study research methods*. London, Continuum.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2019). The Discovery of Causal Mechanisms: Extractive Qualitative Content Analysis as a Tool for Process Tracing. *Forum Qualitative Sozialforschung Forum: Qualitative Social Research*, 20(3). <https://doi.org/10.17169/fqs-20.3.3386>
- Godwin, K. E., Almeda, M. V., Seltman, H., Kai, S., Skerbetz, M. D., Baker, R. S. & Fisher, A. V. (2016). Off-task behavior in elementary school children. *Learning and Instruction*, 44, 128–143. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.04.003>
- Godwin, K. E., Almeda, V., Petroccia, M., Baker, R. S. & Fisher, A. V. (2013). Classroom activities and off-task behavior in elementary school children. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 35(35), 2428–2433. <https://escholarship.org/uc/item/8mx9h5hq>

- Godwin, K. E., Seltman, H., Almeda, M., mandi Davis Skerbetz, Kai, S., Baker, R. S. & Fisher, A. V. (2021). The elusive relationship between time on-task and learning: not simply an issue of measurement. *Educational Psychology*, 41(4), 502–519. <https://doi.org/10.1080/01443410.2021.1894324>
- Granbom, M. & Granbom, M. (2019). Students explanation: Wider variety of teaching methods increases motivation and give higher results in biology. *Nordic Studies in Science Education*, 15(2), 193–205. <https://pdfs.semanticscholar.org/bd58/e4b52b219ec274485a961c4f1f2464dd6a3f.pdf>
- Green, M. (2019). Smartphones, Distraction Narratives, and Flexible Pedagogies: Students Mobile Technology Practices in Networked Writing Classrooms. *Computers and Composition*, 52, 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2019.01.009>
- Günther, M., Rauh, N. & Krems, J. F. (2019). How driving experience and consumption related information influences eco-driving with battery electric vehicles—Results from a field study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 435–450. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.01.016>
- Hall, A. C. G., Lineweaver, T. T., Hogan, E. E. & OBrien, S. W. (2020). On or off task: The negative influence of laptops on neighboring students learning depends on how they are used. *Computers & Education*, 153(0360-1315), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103901>
- Hancock, D. R., Algozzine, B. & Lim, J. H. (2021). *Doing case study research. A practical guide for beginning researchers* (4. Aufl.). Amsterdam, Teachers College Press.
- Hartnig, C. & Schmidt, M. (2013). Elektrolyte und Leitsalze. In R. Korthauer (Hrsg.), *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien* (S. 61–77). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2_6
- Hattie, J. & Yates, G. C. R. (2013). *Visible Learning and the Science of How We Learn*. London, Routledge.
- Heinicke, S. & Westhoff, P. M. (2022). Piktogramme: Praktische Helferlein für Tafel, Pult und Arbeitsblatt. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 33(2), 10–11.
- Heitzmann, A. (2019). Modelle verwenden. In P. Labudde & S. Metzger (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft* (3. Aufl., S. 89–104). Haupt Verlag.

- Helmke, A. (2022). *Unterrichtsqualität und Professionalisierung*. Stuttgart, Kallmeyer in Verbindung mit Klett.
- Hemmerich, W. (2018). StatistikGuru: Poweranalyse für Korrelationen [Website]. <https://statistikguru.de/rechner/poweranalyse-korrelation.html>
- Hemmerich, W. (2023a). Gepaarter t-Test: Mit Ausreißern umgehen [Website]. <https://statistikguru.de/spss/gepaarter-t-test/mit-ausreissern-umgehen-3.html>
- Hemmerich, W. (2023b). Mixed ANOVA: Normalverteilung verletzt - Gegenmaßnahmen [Website]. <https://statistikguru.de/spss/mixed-anova/normalverteilung-verletzt-3.html>
- Hemmerich, W. (2024a). Pearson Produkt-Moment-Korrelation in SPSS [Website]. <https://statistikguru.de/spss/produkt-moment-korrelation/pearson-korrelation-in-spss.html>
- Hemmerich, W. (2024b). Pearson Produkt-Moment-Korrelation: Voraussetzungen [Website]. <https://statistikguru.de/spss/produkt-moment-korrelation/voraussetzungen-4.html>
- Heusler, S., Heinicke, S., Pusch, A., Kramp, B., Giering, B. & Laumann, D. (2020). Messwerterfassung am (eigenen?) Smartphone. Ein Beispiel für eine digital angereicherte Lernumgebung zur Elektromobilität. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(179), 18–22.
- Hinton, P. R. (2010). Mann-Whitney U Test. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Research Design* (S. 747–750). Los Angeles, SAGE.
- Hockly, N. (2012). Tech-savvy teaching: BYOD. *Modern English Teacher*, 21(4), 44–45.
- Hofer, M. (2007). Goal conflicts and self-regulation: A new look at pupilsoff-task behaviour in the classroom. *Educational Research Review*, 2(1), 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2007.02.002>
- Hofer, M., Fries, S., Helmke, A., Kilian, B., Kuhnle, C., Zivkovic, I., Goellner, R. & Helmke, T. (2010). Value orientations and motivational interference in school-leisure conflict: The case of Vietnam. *Learning and Instruction*, 20(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.023>
- Hofer, M., Schmid, S., Fries, S., Dietz, F., Clausen, M. & Reinders, H. (2007). Individual values, motivational conflicts, and learning for school. *Learning and Instruction*, 7(1), 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.11.003>

- Hofer, M., Schmid, S., Fries, S., Zivkovic, I. & Dietz, F. (2009). Value orientations and studying in school-leisure conflict: A study with samples from five countries. *Learning and Individual Differences*, 19(1), 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.09.007>
- Hopkins, N., Tate, M., Sylvester, A. & Johnstone, D. (2017). Motivations for 21st century school children to bring their own device to school. *Information Systems Frontiers*, 19, 1191–1203. <https://doi.org/10.1007/s10796-016-9644-z>
- Hughes, M. E., Waite, L. J., Hawkley, L. C. & Cacioppo, J. T. (2004). A short scale for measuring loneliness in large surveys: Results from two population-based studies. *Research on aging*, 26(6), 655–672. <https://doi.org/10.1177/01640275042685>
- Imeraj, L., Antrop, I., Roeyers, H., Deboutte, D., Deschepper, E., Bal, S. & Sonuga-Barke, E. (2016). The impact of idle time in the classroom: Differential effects on children with ADHD. *Journal of attention disorders*, 20(1), 71–81. <https://doi.org/10.1177/1087054713478464>
- Inglehart, R. (1997). *Modernization and postmodernization: cultural, economic, and political change in 43 societies*. Princeton, Princeton University Press.
- Iora, P. & Tribioli, L. (2019). Effect of ambient temperature on electric vehicles energy consumption and range: Model definition and sensitivity analysis based on nissan leaf data. *World Electric Vehicle Journal*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/wevj10010002>
- Jarrold, C. & Towse, J. N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience*, 139(1), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.07.002>
- Johnson, D. (2012). Power Up! On Board with BYOD. *Educational Leadership*, 70(2), 84–85. <https://www.ascd.org/el/articles/on-board-with-byod>
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122–149. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.1.122>
- Kalkbrenner, M. T. (2021). Alpha, omega, and H internal consistency reliability estimates: Reviewing these options and when to use them. *Counseling*

- Outcome Research and Evaluation*, 14(1), 77–88. <https://doi.org/10.1080/21501378.2021.1940118>
- Karle, A. (2018). *Elektromobilität - Grundlagen und Praxis*. München, Carl Hanser Verlag. <https://doi.org/10.3139/9783446456686>
- Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C. & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen - der Fragebogen TA-EG. *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme*, 8, 196–201.
- Kay, R., Benzimra, D. & Li, J. (2017). Exploring factors that influence technology-based distractions in bring your own device classrooms. *Journal of Educational Computing Research*, 55(7), 974–995. <https://doi.org/10.1177/0735633117690004>
- Kay, R. & Lauricella, S. (2011a). Exploring the benefits and challenges of using laptop computers in higher education classrooms: A formative analysis. *Canadian Journal of Learning and Technology/La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, 37(1), 1–18. <https://www.learntechlib.org/p/42756/?nl=1>
- Kay, R. & Lauricella, S. (2011b). Gender differences in the use of laptops in higher education: A formative analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 44(3), 361–380. <https://doi.org/10.2190/EC.44.3.f>
- Kiger, D. & Herro, D. (2015). Bring Your Own Device: Parental Guidance (PG) Suggested. *TechTrends*, 59, 51–61. <https://doi.org/10.1007/s11528-015-0891-5>
- Kilian, B., Hofer, M., Fries, S. & Kuhnle, C. (2010). The conflict between on-task and off-task actions in the classroom and its consequences for motivation and achievement. *European Journal of Psychology of Education*, 25(1), 67–85. <https://doi.org/10.1007/s10212-009-0007-8>
- Kim, J. (2015). How to choose the level of significance: A pedagogical note [Online Artikel]. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/69992/10/MPRA_paper_69992.pdf
- Kircher, E. (2015). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (3. Aufl., S. 783–807). Springer-Lehrbuch. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_27

- Kirschner, P. A. & De Bruyckere, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education*, 67, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.06.001>
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2007). Multimedia representation of experiments in physics. *European Journal of Physics*, 28(3), 115–126. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/28/3/S11>
- Klaus, M. & Oetken, M. (n. d.). Batteriesysteme der Zukunft auf Basis von legierungsfähigen Metallen in Theorie und Praxis für die Schule und Hochschule [Online Artikel]. https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Publikationen/Nachrichten_aus_der_Chemie/PDFs/Downloads/batteriesysteme.pdf
- KMK. (2017). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz* (Techn. Ber.). https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- KMK. (2022). *Jahresbericht der Kultusministerkonferenz zur Bildung in der digitalen Welt* (Techn. Ber.).
- Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V. (2021). Elektrode [Website]. <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/elektrode/>
- Kotabe, H. P. & Hofmann, W. (2015). On Integrating the Components of Self-Control. *Perspectives on Psychological Science*, 10(5), 618–638. <https://doi.org/10.1177/1745691615593382>
- Kramp, B., Pusch, A., Heusler, S., Laumann, D. & Heinicke, S. (2020). smart for science - Gelingensbedingungen für den Einsatz schülereigener Smartphones im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid-B - Didaktik der Physik – DPG-Frühjahrstagung, 2020* (S. 319–326). Berlin.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 38(5), 747–770. <https://doi.org/10.25656/01:13977>
- Kraska, M. (2010). Repeated Measures Design. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Research Design* (S. 1243–1247). Los Angeles, SAGE.
- Krause, M. & Greefrath, G. (2023). Digitale Medien im Mathematikunterricht: Ein Projekt zur Elektromobilität unter Berücksichtigung lernrelevanter

- Effekte schülereigener und gestellter Geräte [Präsentation auf dem MNU-Bundeskongress 2023 am 29.04.2023].
- Krause, M. (2022). Schülereigene oder gestellte Geräte? Eine Analyse der Auswirkungen auf die Kompetenzentwicklung. In F. Reinhold & F. Schacht (Hrsg.), *Digitales Lernen in Distanz und Präsenz: Herbsttagung 2021 des Arbeitskreises Mathematikunterricht und digitale Werkzeuge in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik am 24.09.2021* (S. 77–79). Essen, DuEPublico. <https://doi.org/10.17185/duepublico/76035>
- Krause, M., Greefrath, G., Denz, C., Heinicke, S., Heusler, S., Janzik, R., Kramp, B., Kremer, F. E., Laumann, D., Leibrock, B., Marohn, A., Masemann, D., Quandt, T., Reer, F., Souvignier, E. & Ubben, M. (2022). BYOD vs pool: Effects on competence development and cognitive load. In J. Hodgen, E. Geraniou, G. Bolondi & F. Ferretti (Hrsg.), *Proceedings of the Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (S. 2783–2790).
- Krause, M., Greefrath, G., Forthmann, B., Kremer, F. E., Reer, F., Laumann, D., Masemann, D., Denz, C., Heinicke, S., Leibrock, B. et al. (2024). Effects of Student-Owned and Provided Mobile Devices on Mathematical Modeling Competence: Investigating Interaction Effects With Problematic Smartphone Use and Fear of Missing Out. *Frontiers in Education*, 9, 1167114. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1167114>
- Kremer, F. & Marohn, A. (2022a). smart for science: Eigene und gestellte Smartphones im Vergleich. *CHEMKON*, 29(S1), 271–274. <https://doi.org/10.1002/ckon.202200009>
- Kremer, F. & Marohn, A. (2022b). smart for science: Lernen mit Smartphones und digitalen Lernmaterialien im Themenfeld Elektromobilität. *MNU journal*. <https://www.mnu.de/zeitschriften/722-2022-05>
- Kremer, F. E. & Marohn, A. (2023). BYOD oder Pool? Smartphone-Distraktion in unterschiedlichen Bereitstellungsbedingungen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt* (S. 103–106). <https://doi.org/10.25656/01:27632>
- Kremer, F. E., Marohn, A., Krause, M., Ubben, M. S., Leibrock, B., Laumann, D., Forthmann, B., Reer, F., Masemann, D., Denz, C., Greefrath, G., Heinicke, S., Quandt, T., Souvignier, E. & Heusler, S. (unveröffentlichtes Manuskript). Alleviating the BYOD debate.

- Krippendorff, K. (1980). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. Thousand Oaks, SAGE.
- Krippendorff, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (4. Aufl.). Thousand Oaks, SAGE.
- Kroenke, K., Spitzer, R. L., Williams, J. B. & Löwe, B. (2009). An ultra-brief screening scale for anxiety and depression: the PHQ-4. *Psychosomatics*, 50(6), 613–621. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x>
- Kucera, L., Gajdac, I. & Mruzek, M. (2016). Simulation of parameters influencing the electric vehicle range. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 18(1A), 59–63. <https://doi.org/10.26552/com.C.2016.1A.59-63>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerstützung* (5. Aufl.). Weinheim, Beltz Juventa.
- Kurzweil, P. (2020). *Chemie - Grundlagen, technische Anwendungen, Rohstoffe, Analytik und Experimente* (11. Aufl.). Wiesbaden, Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-08660-2>
- Kuznekoff, J. H. & Titsworth, S. (2013). The Impact of Mobile Phone Usage on Student Learning. *Communication Education*, 63(3), 233–252. <https://doi.org/10.1080/03634523.2013.767917>
- Latscha, H. P., Klein, H. A. & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie - Chemie - Basiswissen I* (10. Aufl.). Heidelberg, Springer Lehrbuch. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17523-7>
- Laumann, D., Krause, M., Kremer, F. E., Leibrock, B., Ubben, M. S., Forthmann, B., Janzik, R., Masemann, D., Reer, F., Denz, C. et al. (2024). Mobile learning in the classroom - Should students bring mobile devices for learning, or should these be provided by schools? *Education and Information Technologies*, 1–34. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13213-w>
- Lei, X., Kaplan, S. A., Dye, C. E. & Wong, C. M. (2019). On the subjective experience and correlates of downtime at work: A mixed-method examination. *Journal of Organizational Behavior*, 40(3), 360–381. <https://doi.org/10.1002/job.2336>
- Lens, W., Lacante, M., Vansteenkiste, M. & Herrera, D. (2005). Study persistence and academic achievement as a function of the type of competing

- tendencies. *European Journal of Psychology of Education*, 2, 275–287. <https://doi.org/10.1007/BF03173557>
- Leuthner, S. (2013). Übersicht zu Lithium-Ionen-Batterien. In R. Korthauer (Hrsg.), *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien* (S. 13–19). Wiesbaden, Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2_2
- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D. & Ley, C. (2019). How to Classify, Detect, and Manage Univariate and Multivariate Outliers, With Emphasis on Pre-registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), 1–10. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Licorish, S. A., Owen, H. E., Daniel, B. & George, J. L. (2018). Students perception of Kahoot!s influence on teaching and learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 13(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s41039-018-0078-8>
- Liu, H., Cheng, X., Yan, C., Li, Z., Zhao, C., Xiang, R., Yuan, H., Huang, J., Kuzmina, E., Karaseva, E. et al. (2022). A perspective on energy chemistry of low-temperature lithium metal batteries. *iEnergy*, 1(1), 72–81. <https://doi.org/10.23919/IEN.2022.0003>
- Liu, Y., Deng, L., Lin, L. & Gu, X. (2021). Patterns of triggers for on-task and off-task behaviors: university students in independent study. *Interactive Learning Environments*, 31(5), 2792–2808. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1905003>
- Logan, G. D. (1985). Skill and automaticity: Relations, implications, and future directions. *Canadian Journal of Psychology*, 39(2), 367–386. <https://doi.org/10.1037/h0080066>
- Maher, D. & Twining, P. (2017). Bring your own device a snapshot of two Australian primary schools. *Educational Research*, 59(1), 73–88. <https://doi.org/10.1080/00131881.2016.1239509>
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 611–623. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(99\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(99)00027-0)
- Mayer, R. E. (2014). Principles Based on Social Cues in Multimedia Learning: Personalization, Voice, Image, and Embodiment Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Book of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 345–368). Cambridge, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.017>

- Mayer, R. E., Fennell, S., Farmer, L. & Campbell, J. (2004). A personalization effect in multimedia learning: Students learn better when words are in conversational style rather than formal style. *Journal of educational psychology*, 96(2), 389–395. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.2.389>
- Mayer, R. E. & Fiorella, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Book of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 279–315). Cambridge, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.015>
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse Grundlagen und Techniken* (13. Aufl.). Weinheim, Beltz.
- McCoy, B. R. (2016). Digital distractions in the classroom phase II: Student classroom use of digital devices for non-class related purposes. *Journal of Media Education*, 7(1), 5–32.
- McCoy, B. R. (2020). Gen Z and digital distractions in the classroom: Student classroom use of digital devices for non-class related purposes [Online Artikel]. <https://digitalcommons.unl.edu/journalismfacpub/116/>
- Merga, M. K. (2016). Bring Your Own Device: Considering potential risks to student health. *Health Education Journal*, 75(4), 464–473. <https://doi.org/10.1177/0017896915599563>
- Meyer, H. (2014). *Was ist guter Unterricht?* (10. Aufl.). Berlin, Cornelsen.
- Mikelskis-Seifert, S., Knittel, C. & Pfohl, U. (2011). Vom Modellieren im Alltag zum Modellieren im Unterricht - Unterrichtsvorschläge für die frühe Auseinandersetzung mit Gegenstandsmodellen und Denkmodellen. *Unterricht Physik*, 22(122), 13–18. <https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FId=3141712>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>

- Ministerium für Kultur Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2011). Gruppenpuzzle [Online Handreichung]. https://lehrerfortbildung-bw.de/st_if/bs/if/unterrichtsgestaltung/methodenblaetter/gruppenpuzzle.pdf
- Möller, K.-C. (2013). Übersicht über die Speichersysteme/Batteriesysteme. In R. Korthauer (Hrsg.), *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien* (S. 3–9). Wiesbaden, Springer-Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2_1
- Moors, A. & de Houwer, J. (2006). Automaticity: A Theoretical and Conceptual Analysis. *Psychological Bulletin*, 132(2), 297–326. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.2.297>
- Mortimer, C. E. & Müller, U. (2020). *Chemie* (13. Aufl.). Stuttgart, Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-006-163279>
- Muñoz-Merino, P. J., Molina, M. F., Muñoz-Organero, M. & Kloos, C. D. (2014). Motivation and emotions in competition systems for education: An empirical study. *IEEE Transactions on education*, 57(3), 182–187. <https://doi.org/10.1109/TE.2013.2297318>
- Murrar, S. & Brauer, M. (2018). Mixed Model Analysis of Variance. In B. Frey (Hrsg.), *The Sage encyclopedia of educational research, measurement, and evaluation* (S. 1074–1078). Los Angeles, SAGE Reference.
- musstewissen Chemie. (2017). Teilchenmodell | Atome | Moleküle | musstewissen Chemie [Online Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=ej7-EbeXpml>
- Myers, S. A., Goldman, Z. W., Ball, H., Carton, S. T., Atkinson, J., Tindage, M. F. & Anderson, A. O. (2015). Assessing College Student Use of Anti-citizenship Classroom Behavior: Types, Reasons, and Association with Learning Outcomes. *Communication Teacher*, 29(4), 234–251. <https://doi.org/10.1080/17404622.2015.1064984>
- Nelson, D. (2012). BYOD: An Opportunity Schools Cannot Afford to Miss. *Internet@Schools*, 19(5), 12–15. <https://www.proquest.com/docview/1153782427?sourcetype=Trade%20Journals>
- Netzwerk Leichte Sprache. (n. d.). Die Regeln für leichte Sprache [Online Handreichung]. https://www.leichte-sprache.org/wp-content/uploads/2017/11/Regeln_Leichte_Sprache.pdf
- Nuholu Kibar, P., Gündüz, A. Y. & Akkoyunlu, B. (2020). Implementing bring your own device (BYOD) model in flipped learning: Advantages and chal-

- lenges. *Technology, Knowledge and Learning*, 25, 465–478. <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09427-4>
- Opel. (2021). CORSA-E [Website]. <https://www.opel.de/fahrzeuge/corsa-modelle/corsa-e/uebersicht.html>
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 84(4), 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paetzold, P. (2009). *Chemie - Eine Einführung*. Berlin, de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110211351>
- Panova, T., Carbonell, X., Chamarro, A. & Puerta-Cortés, D. X. (2019). Specific smartphone uses and how they relate to anxiety and depression in university students: A cross-cultural perspective. *Behaviour & Information Technology*, 39(9), 944–956. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2019.1633405>
- Panova, T. & Lleras, A. (2016). Avoidance or boredom: Negative mental health outcomes associated with use of Information and Communication Technologies depend on users motivations. *Computers in Human Behavior*, 58, 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.062>
- Parsons, D. & Adhikari, J. (2016). Bring your own device to secondary school: The perceptions of teachers, students and parents. *The Electronic Journal of e-learning*, 14(1), 66–80. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1099110.pdf>
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition*, 17, 398–422. <https://doi.org/10.3758/BF03202613>
- Pohl, K. & Faas, T. (2013). Gruppenpuzzle, Expertengruppen [Website]. <https://fachdidaktik.politik.uni-mainz.de/good-practice-tipps-fur-gute-lehre/3-methodische-alternativen-zum-referat/gruppenpuzzleexpertengruppen/>
- Porat, E., Blau, I. & Barak, A. (2018). Measuring digital literacies: Junior high-school students' perceived competencies versus actual performance. *Computers & Education*, 126, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.030>

- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Przybylski, A. K., Murayama, K., DeHaan, C. R. & Gladwell, V. (2013). Motivational, emotional, and behavioral correlates of fear of missing out. *Computers in human behavior*, 29(4), 1841–1848. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.02.014>
- Pusch, A., Ubben, M. S., Laumann, D., Heinicke, S. & Heusler, S. (2021). Real-time data acquisition using Arduino and phyphox: Measuring the electrical power of solar panels in contexts of exposure to light in physics classroom. *Physics Education*, 56(4), 045001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abe993>
- Radinger, R. (2005). Soziales Kapital und PISA-Leistungen. Eine Mehrebenenanalyse. *Statistische Nachrichten*, 4, 316–327.
- Ragan, E. D., Jennings, S. R., Massey, J. D. & Doolittle, P. E. (2014). Unregulated use of laptops over time in large lecture classes. *Computers & Education*, 78, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.05.002>
- Rauh, N., Günther, M. & Krems, J. F. (2020). Positive influence of practical electric vehicle driving experience and range related knowledge on drivers' experienced range stress. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 71, 182–197. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.03.013>
- Reer, F., Küpper, L. & Quandt, T. (2023). Mindfulness as a Protective Factor Against Social Media Use Disorder: The Mediating Roles of Mental Health and Loneliness. In *73rd Annual Conference of the International Communication Association (ICA)*. Toronto, Canada.
- Reer, F., Tang, W. Y. & Quandt, T. (2019). Psychosocial well-being and social media engagement: The mediating roles of social comparison orientation and fear of missing out. *New Media & Society*, 21(7), 1486–1505. <https://doi.org/10.1177/1461444818823719>
- Reigeluth, C. M. & Schwartz, E. (1989). An instructional theory of the design of computer-based simulations. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16(1), 1–10. https://www.researchgate.net/profile/Charles-Reigeluth/publication/232438994_An_instructional_theory_for_the_design_of_computer-based_simulations_42/links/02e7e5380a74f0f0b8000000

- /An-instructional-theory-for-the-design-of-computer-based-simulations-42.pdf
- Riedl, A. & Schelten, A. (2013). *Grundbegriffe der Pädagogik und Didaktik beruflicher Bildung*. Stuttgart, Franz Steiner Verlag.
- Roberge, D., Rojas, A. & Baker, R. (2012). Does the length of time off-task matter? In *Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge* (S. 234–237). New York, USA. <https://doi.org/10.1145/2330601.2330657>
- Robison, M. K. & Unsworth, N. (2015). Working memory capacity offers resistance to mind-wandering and external distraction in a context-specific manner. *Applied Cognitive Psychology*, 29(5), 680–690. <https://doi.org/10.1002/acp.3150>
- Rumsey, D. J. (2020). *Statistik für dummies* (4. Aufl.). Weinheim, Wiley.
- Salvucci, D. D. & Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101–130. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.1.101>
- Sandelowski, M. (2011). Casing the research case study. *Research in nursing & health*, 34(2), 153–159. <https://doi.org/10.1002/nur.20421>
- Schellenberg, D. (2018). *Analyzing the Impact of BYOD in Secondary School English Classrooms* (Magisterarb.). Graduate Department of Education in the University of Ontario Institute of Technology.
- Schmid, S., Hofer, M., Dietz, F., Reinders, H. & Fries, S. (2005). Value orientations and action conflicts in studentseveryday life: An interview study. *European Journal of Psychology of Education*, 20, 243–257. <https://doi.org/10.1007/BF03173555>
- Schneeweiß, N. & Sieve, B. (2020). Experimentieren mit digitalen Werkzeugen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 31(177/178), 10–11.
- Schneeweiß, N., Sieve, B. & Ulrich, N. (2020). Chemieunterricht digital unterstützen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 31(177/178), 4–9.
- Scholl, B. J. (2001). Objects and attention: the state of the art. *Cognition*, 80(1-2), 1–46. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00152-9](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00152-9)
- Schreier, M. (2014). Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. *Forum Qualitative Sozialforschung Forum: Qualitative Social Research*, 15(1). <https://doi.org/10.17169/fqs-15.1.2043>

- Schubert, K., Zeschke, M. & Zacher, H. (2023). What to do when there is nothing to do? Toward a better understanding of idle time at work. *Current Psychology*, 42(14), 11871–11890. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02445-5>
- Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablenkontrollstrategie im Physikunterricht. *MNU journal*, 68(6), 346–350.
- Seemiller, C. (2017). Curbing Digital Distractions in the Classroom. *Contemporary Educational Technology*, 8(3), 214–231. <https://dergipark.org.tr/en/pub/cet/issue/30468/329159>
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127–190. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127>
- Sieve, B. (2020). Vorstellungen visualisieren und modellieren. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 31(177/178), 36–37.
- Skaugset, L. M., Farrell, S., Carney, M., Wolff, M., Santen, S. A., Perry, M. & Cico, S. J. (2016). Can You Multitask? Evidence and Limitations of Task Switching and Multitasking in Emergency Medicine. *Annals of Emergency Medicine*, 68(2), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.10.003>
- Smallwood, J., Nind, L. & OConnor, R. C. (2009). When is your head at? An exploration of the factors associated with the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and cognition*, 18(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.11.004>
- Song, Y. & Ku, W. Y. (2016). Enhancing Science Learning with BYOD (Bring Your Own Device) in a primary school in Hong Kong. In N. Kucirkova & G. Falloon (Hrsg.), *Apps, Technology and Younger Learners: International evidence for teaching* (S. 192–206). London, Routledge.
- Starkey, L., Sylvester, A. & Johnstone, D. (2017). Negotiating digital divides: Perspectives from the New Zealand schooling system. *Journal of Research on Technology in Education*, 49(1-2), 31–42. <https://doi.org/10.1080/15391523.2017.1292161>
- Stinken-Rösner, L. & Abels, S. (2020). Gase auf submikroskopischer Ebene untersuchen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 31(177/178), 47–51.

- Stinken-Rösner, L. & Abels, S. (2021). Digitale Medien als Mittler im Spannungsfeld zwischen naturwissenschaftlichem Unterricht und inklusiver Pädagogik. In C. Lindmeier, A. Nehring, S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, R. Schildknecht & V. Seremet (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion* (S. 161–175). Weinheim, Beltz Juventa.
- Stone, E. R. (2010a). t Test, Independent Samples. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Research Design* (S. 1551–1556). Los Angeles, SAGE.
- Stone, E. R. (2010b). t Test, Paired Samples. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Research Design* (S. 1560–1565). Los Angeles, SAGE.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. <https://doi.org/10.1039/c3rp00012e>
- Tagsold, J. T. (2013). Why Aren't They Paying Attention to Me? Strategies for Preventing Distraction in a 1: 1 Learning Environment. *Journal of Research in Education*, 2(2), 126–145. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1098416.pdf>
- Tallvid, M., Lundin, J., Svensson, L. & Lindström, B. (2015). Exploring the relationship between sanctioned and unsanctioned laptop use in a 1:1 classroom. *Journal of Educational Technology & Society*, 18(1), 237–249. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.18.1.237>
- Taneja, A., Fiore, V. & Fischer, B. (2015). Cyber-slacking in the classroom: Potential for digital distraction in the new age. *Computers & Education*, 82, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.11.009>
- Tindell, D. R. & Bohlander, R. W. (2012). The use and abuse of cell phones and text messaging in the classroom: A survey of college students. *College teaching*, 60(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/87567555.2011.604802>
- Travesset-Baro, O., Rosas-Casals, M. & Jover, E. (2015). Transport energy consumption in mountainous roads. A comparative case study for internal

- combustion engines and electric vehicles in Andorra. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.006>
- Tuan, H.-L., Chin, C.-C. & Shieh, S.-H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International journal of science education*, 27(6), 639–654. <https://doi.org/10.1080/0950069042000323737>
- Universität zu Köln. (2017). Der Lithium-Ionen-Akku [Online Video]. https://www.youtube.com/watch?v=eO5_OW4rIVs
- Unsworth, N. & McMillan, B. D. (2017). Attentional disengagements in educational contexts: A diary investigation of everyday mind-wandering and distraction. *Cognitive research: Principles and implications*, 2(32), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0070-7>
- Urhahne, D. & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft*, 34(4), 358–377. <https://doi.org/10.25656/01:5523>
- Vahedi, Z., Zannella, L. & Want, S. C. (2021). Students use of information and communication technologies in the classroom: Uses, restriction, and integration. *Active Learning in Higher Education*, 22(3), 215–228. <https://doi.org/10.1177/1469787419861926>
- Van den Eijnden, R. J., Lemmens, J. S. & Valkenburg, P. M. (2016). The social media disorder scale. *Computers in human behavior*, 61, 478–487. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.038>
- Varga, B. O., Sagoian, A. & Mariasiu, F. (2019). Prediction of electric vehicle range: A comprehensive review of current issues and challenges. *Energies*, 12(5), 1–19. <https://doi.org/10.3390/en12050946>
- Vetter, P. (2017). Leichtbauweise verbessert Ökobilanz von E-Autos kaum [Online Artikel]. <https://www.welt.de/wirtschaft/article171195605/Leichtbauweise-verbessert-Oekobilanz-von-E-Autos-kaum.html>
- Wager, G., Whale, J. & Braunl, T. (2016). Driving electric vehicles at highway speeds: The effect of higher driving speeds on energy consumption and driving range for electric vehicles in Australia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 63, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.060>

- Waldmann, T., Wilka, M., Kasper, M., Fleischhammer, M. & Wohlfahrt-Mehrens, M. (2014). Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries - A Post-Mortem study. *Journal of power sources*, 262, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.112>
- Wang, A. I., Zhu, M. & Sætre, R. (2016). The effect of digitizing and gamifying quizzing in classrooms. In T. Connolly & L. Boyle (Hrsg.), *Proceedings of the 10th European Conference on Game Based Learning* (S. 729–737). Academic Conferences; Publishing International.
- Weber, C. J. & Roth, M. (2013). Separatoren. In R. Korthauer (Hrsg.), *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien* (S. 79–93). Wiesbaden, Springer-Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2_7
- Weiß, C. (2005). *Basiswissen Medizinische Statistik* (3. Aufl.). Heidelberg, Springer Medizin Verlag.
- Weiss, R. H. (2019). *CFT 20-R. Grundintelligenztest Skala 2 - Revision* (2. Aufl.). Göttingen.
- Wentzel, K. R. (1989). Adolescent Classroom Goals, Standards for Performance, and Academic Achievement: An Interactionist Perspective. *Journal of Educational Psychology*, 81(2), 131–142. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.2.131>
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3–118. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2
- Wichadee, S. & Pattanapichet, F. (2018). Enhancement of performance and motivation through application of digital games in an English language class. *Teaching English with Technology*, 18(1), 77–92. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=606509>
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. S. Nickerson (Hrsg.), *Attention and Performance VIII* (S. 239–257). New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>
- Wilson, T. D., Reinhard, D. A., Westgate, E. C., Gilbert, D. T., Ellerbeck, N., Hahn, C., Brown, C. L. & Shaked, A. (2014). Just think: The challenges of the

- disengaged mind. *Science*, 345(6192), 75–77. <https://doi.org/10.1126/science.1250830>
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172–184). Göttingen, Hogrefe.
- Wood, E., Mirza, A. & Shaw, L. (2018). Using technology to promote classroom instruction: Assessing incidences of on-task and off-task multitasking and learning. *Journal of Computing in Higher Education*, 30, 553–571. <https://doi.org/10.1007/s12528-018-9185-1>
- Wood, E., Zivcakova, L., Gentile, P., Archer, K., Pasquale, D. D. & Nosko, A. (2012). Examining the impact of off-task multi-tasking with technology on real-time classroom learning. *Computers & Education*, 58(1), 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.08.029>
- Woodside, A. G. (2017). *Building Theory from Case Study Research* (2. Aufl.). Bingley, Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781785604607>
- Wörner, S., Scheiter, K. & Kuhn, J. (2021). Das beste aus beiden Welten: Simulationsexperimente als Ergänzung zu Realexperimenten. In J. Meißinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital* (S. 48–51). Joachim Herz Stiftung.
- Xu, J. (2010). Predicting Homework Distraction at the Secondary School Level: A Multilevel Analysis. *Teachers College Record*, 112(7), 1937–1970. <https://doi.org/10.1177/016146811011200705>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6. Aufl.). Los Angeles, SAGE.
- Yuksel, T. & Michalek, J. J. (2015). Effects of regional temperature on electric vehicle efficiency, range, and emissions in the United States. *Environmental Science & Technology*, 49(6), 3974–3980. <https://doi.org/10.1021/es505621s>
- Zeschke, M. & Zacher, H. (2023). Is it Bad Because it is Boring? Effects of Idle Time on Employee Outcomes. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 32(6), 886–901. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2023.2261661>

- Zhang, X., Li, Z., Luo, L., Fan, Y. & Du, Z. (2022). A review on thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Energy*, 238, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121652>
- Zhou, Y. (2022). *Exploring the Process and Predictors of On-Task and Off-Task Smartphone Multitasking in Real-Time University Classroom* (Diss.). Hong Kong Baptist University. <https://scholars.hkbu.edu.hk/en/studentTheses/exploring-the-process-and-predictors-of-on-task-and-off-task-smar>
- Zimmerman, D. W. (1994). A note on the influence of outliers on parametric and nonparametric tests. *The Journal of General Psychology*, 121(4), 391–401. <https://doi.org/10.1080/00221309.1994.9921213>
- Zumbo, B. D. & Jennings, M. J. (2002). The robustness of validity and efficiency of the related samples t-test in the presence of outliers. *Psicologica*, 23(2), 415–450. <https://www.redalyc.org/pdf/169/16923209.pdf>
- Zureick, A. H., Burk-Rafel, J., Purkiss, J. A. & Hortsch, M. (2018). The Interrupted Learner: How Distractions during Live and Video Lectures Influence Learning Outcomes. *Anatomical Sciences Education*, 11(4), 366–376. <https://doi.org/10.1002/ase.1754>

Abkürzungsverzeichnis

BYOD Bring Your Own Device

BYOT Bring Your Own Technology

COPE Corporate Owned Personally Enabled

GYOD Get Your Own Device

NEDC New European Driving Cycle

Pool Gerätepool

QIA Qualitative Inhaltsanalyse

Abbildungsverzeichnis

1.1	Visualisierung der maßgeblichen Forschungsinteressen	10
2.1	Kontextspezifität der zwei Komponenten des nicht-lernbezogenen Verhaltens im Unterricht	11
2.2	Die Wirkungsweise von Leerlauf(-Tätigkeiten)	32
3.1	Ablauf der Datenerhebung	38
3.2	Kamerabrille des Modells HDC-700 der Marke OctaCam mit daran angebrachtem Fisheye-Objektiv	47
3.3	Bildaufnahme einer Kamerabrille des Modells HDC-700 der Marke OctaCam mit Fisheye-Objektiv	48
3.4	QR-Codes zum Abrufen der digitalen Lernmedien	49
3.5	Momentaufnahmen des Lernvideos über das Funktionsprinzip des Lithium-Ionen-Legierungsakkumulators	52
3.6	Momentaufnahmen der Reichweitesimulation	59
3.7	QR-Code zum Abrufen analoger Arbeitsmaterialien	63
3.8	Workshopverlauf. Die hier aufgeführten Lernmedien werden ergänzend zu den analogen Arbeitsmaterialien eingesetzt.	65
3.9	Elektro-Modellauto	67
4.1	Erkenntnisgewinnung in vergleichenden Fallanalysen	76
5.1	Verteilung der gruppenübergreifenden Prä- und Post- Testergebnisse	87
5.2	Verteilung der gruppenspezifischen Prä- und Post-Testergebnisse	88
5.3	Gruppenspezifische Darstellung der mittleren Prä- und Post- Testergebnisse	89
5.4	Verteilung der gruppenspezifischen Fachwissenszuwächse	90
6.1	Schema zur Identifikation von Lernenden für die Analyse des nicht-lernbezogenen Verhaltens	115
6.2	Visualisierung des iterativen Codiervorgangs	120
6.3	Intercoder-Übereinstimmung hinsichtlich des Vorhandenseins von Codes	122
6.4	Intercoder-Übereinstimmung hinsichtlich der Häufigkeit der vergebenen Codes	123

6.5	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)	125
6.6	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)	126
6.7	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distaktionsverhalten (Fall 1: BYOD)	128
6.8	Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction (Fall 1: BYOD)	129
6.9	Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)	130
6.10	Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)	132
6.11	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer einzelner inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)	133
6.12	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB1	134
6.13	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB2	135
6.14	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB3	135
6.15	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB4	135
6.16	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB5	135
6.17	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB6	135
6.18	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB7	136
6.19	Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LB8	136
6.20	Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 1: BYOD) .	137

6.21 Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)	137
6.22 Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)	139
6.23 Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)	139
6.24 Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distaktionsverhalten (Fall 2: Pool)	141
6.25 Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction (Fall 2: Pool)	142
6.26 Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)	144
6.27 Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der einzelnen inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)	146
6.28 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP1	147
6.29 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP2	147
6.30 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP3	147
6.31 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP4	148
6.32 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP5	148
6.33 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP6	148
6.34 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP7	148
6.35 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP8	148
6.36 Distaktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP9	149

6.37	Distraktionsereignisse im zeitlichen Verlauf der Workshopteilnahme von LP10	149
6.38	Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)	149
6.39	Anteil der Dauer Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool) .	150
6.40	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)	152
7.1	Verteilung der in Studie III betrachteten Daten	170
7.2	Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs	172
7.3	Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Distraction mit Smartphone-Bezug an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen und dem Fachwissenszuwachs	173
7.4	Zusammenhang zwischen dem Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen und dem Fachwissenszuwachs	174
8.1	Ergebnisübersicht	187

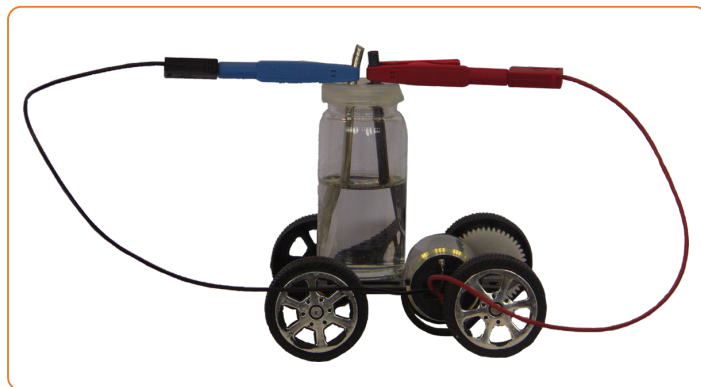
Tabellenverzeichnis

2.1	Beispiele für die Anwendung des Leerlauf-Begriffs	29
3.1	Umsetzung der Prinzipien multimedialer Darstellungen	53
3.2	Impuls- und Quizfragen der interaktiven Präsentation	66
5.1	Spezifizierung der Teilstichproben zur Identifikation von merkmalspezifischen Gruppen- und Messzeitpunkt-Effekten	95
5.2	Prüfung der Homoskedastizität und der Homogenität der Kovarianzen in merkmalspezifischen Teilstichproben	97
5.3	Identifikation von Messzeitpunkt-, Gruppen- und Interaktionseffekten in merkmalspezifischen Teilstichproben (Teil I)	98
5.4	Identifikation von Messzeitpunkt-, Gruppen- und Interaktionseffekten in merkmalspezifischen Teilstichproben (Teil II)	99
5.5	Teststärken zur Anwendung von ungepaarten t-Tests und gemischten Varianzanalysen auf Basis der gesamten Stichprobe	101
5.6	Teststärken zur Anwendung von gemischten Varianzanalysen auf Basis der kleinsten und größten merkmalspezifischen Teilstichprobe	101
6.1	Hintergrundmerkmale der zur Videoanalyse vorgesehenen Lernenden aus der BYOD-Gruppe	118
6.2	Hintergrundmerkmale der zur Videoanalyse vorgesehenen Lernenden aus der Pool-Gruppe	119
6.3	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)	127
6.4	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distaktionsverhalten (Fall 1: BYOD)	127
6.5	Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction der einzelnen Lernenden (Fall 1: BYOD)	131
6.6	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer einzelner inhaltlicher Arbeitsphasen (Fall 1: BYOD)	134
6.7	Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 1: BYOD)	136

6.8	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 1: BYOD)	138
6.9	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der inhaltlichen Arbeitsphasen der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)	140
6.10	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit beim Distaktionsverhalten (Fall 2: Pool)	141
6.11	Anteile der Dauer verbaler und non-verbaler Distaktionsformen mit und ohne Smartphone-Bezug an der Dauer der Gesamtdistraction der einzelnen Lernenden (Fall 2: Pool)	145
6.12	Anteil der Dauer der Distraction an der Dauer der einzelnen inhaltlichen Arbeitsphasen (Fall 2: Pool)	146
6.13	Anteil der Dauer der Tätigkeiten mit Smartphone-Bezug an der Dauer der Leerlauf-Phasen einzelner Lernender (Fall 2: Pool) . .	151
6.14	Applikationsspezifische Zugriffshäufigkeit bei der Verwendung des Smartphones in Leerlauf-Phasen (Fall 2: Pool)	152
7.1	Produkt-Moment-Korrelationen für den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Maßen des nicht-lernbezogenen Verhaltens und dem Fachwissenszuwachs	171
7.2	Teststärken zur Anwendung der Produkt-Moment-Korrelation zur Identifikation der möglichen Zusammenhänge zwischen den betrachteten Verhaltensmerkmalen und dem Fachwissenszuwachs	174

Anhang

Nachhaltig Fahren – smart for science Workshop Chemie



Datum: _____

Schule: _____

Klasse: _____

Persönlicher
Code: _____

Brillencode 1: _____

Brillencode 2: _____

Brillencode 3: _____

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

1. Elektro-Autos und du



Logge dich in unser Mentimeter ein:

Rufe die Internet-Seite *menti.com* auf.

Gib den Zugangs-Code vom oberen Rand am Smart-Board ein und klicke den *Submit*-Button.

Nimm an der Umfrage teil.

Nimm danach am Quiz teil.

smart for science



Mentimeter



Bitte beantworte nun die folgenden Fragen:

1. Wie einfach oder schwierig war es für dich die Aufgabe zu bearbeiten?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr sehr einfach	Sehr einfach	Einfach	Eher einfach	Weder noch	Eher schwierig	Schwierig	Sehr schwierig	Sehr sehr schwierig

2. Wie spannend war für dich
der Inhalt der Aufgabe?

Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

3. Wie wichtig war für dich der
Inhalt der Aufgabe?

Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

4. Wie interessant war für dich
die Arbeit mit dem
Smartphone?

Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

5. Wie interessant war für dich
das Mentimeter-Quiz?

☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------



smart for science

2. So funktioniert dein Lithium-Ionen-Akkumulator



Rufe das Erklärvideo auf.

Schaue den Teil zum Lade-Vorgang an und stoppe das Video.

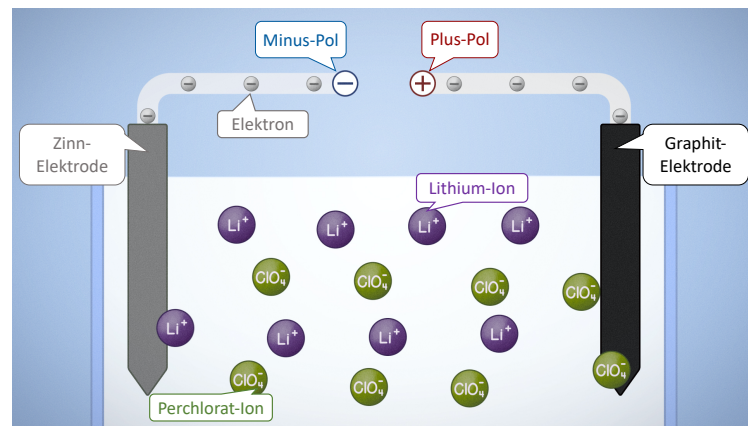
Zeichne die Bewegungs-Richtung von Elektronen, Lithium-Ionen und Perchlorat-Ionen mit Pfeilen in das Bild ein.

Ergänze den Lückentext.

Du darfst dafür auch zurück-spulen.



Der Lade-Vorgang:



Hinweis:

Ein *Ion* ist ein elektrisch geladenes Atom oder Molekül.

Tipp:

Du brauchst Wörter aus den Bildern.

Vorgänge im Inneren von der Zinn-Elektrode:	_____ -Ionen und _____ werden eingelagert.
Vorgänge im äußeren Stromkreis:	Elektronen wandern vom _____ -Pol hin zur _____ -Elektrode. Außerdem wandern Elektronen von der _____ -Elektrode hin zum _____ -Pol.
Vorgänge im Inneren von der Graphit-Elektrode:	_____ -Ionen werden eingelagert und _____ werden abgegeben.



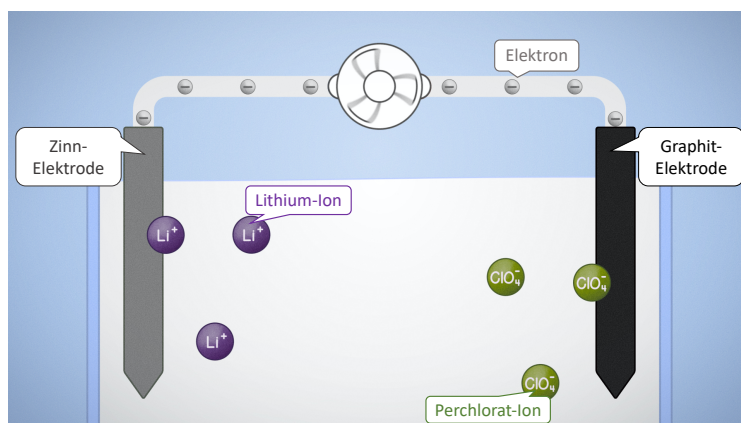
Schaue das Erklärvideo bis zum Ende an.

Zeichne die Bewegungsrichtung von Elektronen, Lithium-Ionen und Perchlorat-Ionen mit Pfeilen in das Bild ein.

Ergänze den Lückentext.



Der Entlade-Vorgang:



Vorgänge im Inneren von der Zinn-Elektrode:

_____ -Ionen und _____ werden abgegeben.

Vorgänge im äußeren Stromkreis:

Elektronen wandern von der _____ -Elektrode über den Motor hin zur _____ -Elektrode.

Vorgänge im Inneren von der Graphit-Elektrode:

_____ -Ionen werden abgegeben und _____ werden eingelagert.



.....

Bitte beantworte nun die folgenden Fragen:

1. Wie einfach oder schwierig war es für dich die Aufgabe zu bearbeiten?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr sehr einfach	Sehr einfach	Einfach	Eher einfach	Weder noch	Eher schwierig	Schwierig	Sehr schwierig	Sehr sehr schwierig

	Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
2. Wie <u>spannend</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
3. Wie <u>wichtig</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
4. Wie <u>interessant</u> war für dich die Arbeit mit dem Smartphone?	☐	☐	☐	☐	☐

	☐	☐	☐	☐	☐
5. Wie <u>interessant</u> war für dich das Erklär-Video?	☐	☐	☐	☐	☐



3. Familie Drivemann plant einen Road-Trip



Hinweis:

Die **Reichweite** ist die Strecke, die man mit einer Akku-Ladung fahren kann.

3.1 Vermutungen aufstellen

Im nächsten Jahr machen die Drivemanns einen Road-Trip mit dem Elektro-Auto. Sie möchten die öffentlichen Lade-Stationen selten anfahren. Dafür brauchen sie die besten Fahr-Bedingungen.

Hilf Familie Drivemann bei der Urlaubs-Planung.

Welche Entscheidungen müssen sie für eine große Reichweite treffen?

Die wichtigen Reichweite-Faktoren findest du unten.



Faktor 1: Der Fahrstil

Jedes Familien-Mitglied hat einen eigenen Fahrstil.

Frau Drivemann beschleunigt stark und bremst stark (sportlich).

Die Zwillinge Emma und Max beschleunigen schwach und bremsen schwach. Oft lassen sie das Auto ausrollen (zurückhaltend).

Herr Drivemann fährt zurückhaltender als seine Frau, aber sportlicher als die Zwillinge (gewöhnlich).

Begründe (mit Hinblick auf den Fahrstil), wer das Auto fahren sollte, damit die Drivemanns eine große Reichweite haben.

Faktor 2: Das Tempo

Die Drivemanns fahren unterschiedlich schnell.

Frau Drivemann fährt immer mit dem größten erlaubten Tempo (schnell).

Die Zwillinge Emma und Max fahren deutlich unter dem Tempo-Limit (langsam).

Herr Drivemann fährt langsamer als seine Frau, aber schneller als die Zwillinge (durchschnittlich).

Begründe (mit Hinblick auf das Tempo), wer das Auto fahren sollte, damit die Drivemanns eine große Reichweite haben.

Faktor 3: Die Außen-Temperatur

Zu unterschiedlichen Urlaubs-Zeiten sind die Außen-Temperaturen verschieden.

Familie Drivemann kann im Frühling über die Oster-Feiertage verreisen (mild).

Sie können ihren Urlaub auch in den Sommer-Ferien antreten (heiß).

Außerdem können sie den Roadtrip in den Weihnachts-Ferien machen (kalt).

Begründe, wann die Drivemanns fahren sollten, damit sie eine große Reichweite haben.

Faktor 4: Das Terrain

Noch haben die Drivemanns nicht entschieden, wohin sie fahren.

Sie können die Alpen bereisen (bergig).

Außerdem können sie einen Roadtrip an der Küste machen (flach).

Sie können auch im Rhein-Main-Gebiet (hügelig) reisen.

Begründe, wo die Drivemanns reisen sollten, damit sie eine große Reichweite haben.

Faktor 5: Das Last-Gewicht

Die Drivemanns wollen unterschiedlich viel Gepäck mitnehmen.

Frau Drivemann möchte so viele Koffer und andere Gegenstände mitnehmen wie möglich.

Dafür muss das Auto einen Anhänger ziehen (schwer).

Herr Drivemann braucht nur wenige Koffer (leicht).

Emma und Max haben keine Lust Koffer zu packen. Sie möchten kein Gepäck mitnehmen (keine).

Begründe, welche Last die Drivemanns transportieren sollten, damit sie eine große Reichweite haben.

Faktor 6: Der Komfort

Im Auto der Drivemanns gibt es viele Möglichkeiten um ein angenehmes Fahr-Erlebnis zu schaffen.

Sie können die Klima-Anlage anschalten (Klima).

Sie können Klima-Anlage und Sitz-Heizung anschalten (Klima + Sitzheizung).

Sie können ohne Heizung fahren (keine).

Begründe, welchen Komfort die Drivemanns wählen sollten, damit sie eine große Reichweite haben.

Faktor 7: Die Route

Die Drivemanns können auf verschiedenen Wegen fahren.

Auf Route 1 können sie mit einer hohen Geschwindigkeit und ohne Pause fahren (Autobahn).

Auf Route 2 müssen sie kaum anhalten und können schnell und langsam fahren (Autobahn + Stadt).

Auf Route 3 können sie nur langsam fahren und müssen oft anhalten (Stadt).

Begründe, welche Route die Drivemanns nehmen sollten, damit sie eine große Reichweite haben.





3.2 Systematisches Vorgehen wählen

Herr Drivemann fragt sich, ob die Entscheidungen gut sind.

Er spricht mit einem Kollegen.

Ihr könnt die Entscheidungen in einem Experiment prüfen.

Dabei müsst ihr unter verschiedenen Bedingungen mit dem Auto fahren, bis der Akku leer ist.

Es gibt auch eine Simulation.

Das ist ein digitales Experiment.

Dort könnt ihr für jeden Reichweite-Faktor eine von 3 Einstellungen wählen.

Die Simulation gibt für jede Kombination von Einstellungen an, wie weit das Auto fährt.

Dabei ist ein *systematisches Vorgehen* sehr wichtig.

Das ist zu viel Arbeit.

Das können wir machen.

Später fragt sich Herr Drivemann, was sein Kollege mit dem *systematischen Vorgehen* gemeint hat.

☐ Emma hat eine Idee:

Wir untersuchen jeden Faktor getrennt von den anderen.

Das heißt, wir prüfen für jeden einzelnen Faktor, welche Einstellung zur größten Reichweite führt.

Während wir die Einstellung von dem zu prüfenden Faktor verändern, bleibt die Einstellung von den anderen Faktoren gleich.

☐ Max ist anderer Meinung:

Wir müssen zuerst alle Faktoren auf den höchsten Wert einstellen.

Danach stellen wir alle Faktoren auf den mittleren Wert ein.

Dann stellen wir alle Faktoren auf den niedrigsten Wert ein.

Am Ende vergleichen wir die Reichweite von diesen 3 Kombinationen.

Wer hat recht, Emma oder Max?

Diskutiere diese Frage mit deinem Partner.

Kreuze das richtige *systematische Vorgehen* an.



3.3 Selbst-Check

Rufe die Musterlösung auf.
Vergleiche deine Lösung von Aufgabe 3.2 mit der Musterlösung.
Korrigiere deine Lösung mit der Farbe **Grün**, wenn sie falsch ist.
Hake deine Lösung ab, wenn sie richtig ist.



Selbst-Check



3.4 Systematisches Vorgehen anwenden

Rufe die Simulation auf.
Finde die Bestwerte von den Reichweite-Faktoren heraus.
Wende dafür das systematische Vorgehen an.
Notiere die Bestwerte in der Tabelle.



Simulation



Reichweite-Faktor	Bestwert
Fahrstil	
Tempo	
Außen-Temperatur	
Terrain	
Last-Gewicht	
Komfort	
Route	



Bitte beantworte nun die folgenden Fragen:

1. Wie einfach oder schwierig war es für dich die Aufgabe zu bearbeiten?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr sehr einfach	Sehr einfach	Einfach	Eher einfach	Weder noch	Eher schwierig	Schwierig	Sehr schwierig	Sehr sehr schwierig

2. Wie spannend war für dich
der Inhalt der Aufgabe?

Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

3. Wie wichtig war für dich der
Inhalt der Aufgabe?

Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

4. Wie interessant war für dich
die Arbeit mit dem
Smartphone?

Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
☐	☐	☐	☐	☐

5. Wie interessant war für dich
die Simulation?

☐	☐	☐	☐	☐
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------





3.5 Sprinter-Challenge

Finde die schlechtesten Werte von den Reichweite-Faktoren heraus.
Wende dafür das systematische Vorgehen an.
Notiere die schlechtesten Werte in der Tabelle.

smart for science



Reichweite-Faktor	Schlechtester Wert
Fahrstil	
Tempo	
Außen-Temperatur	
Terrain	
Last-Gewicht	
Komfort	
Route	



Bitte beantworte nun die folgenden Fragen:

1. Wie einfach oder schwierig war es für dich die Aufgabe zu bearbeiten?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr sehr einfach	Sehr einfach	Einfach	Eher einfach	Weder noch	Eher schwierig	Schwierig	Sehr schwierig	Sehr sehr schwierig

	Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
2. Wie <u>spannend</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
3. Wie <u>wichtig</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
4. Wie <u>interessant</u> war für dich die Arbeit mit dem Smartphone?	☐	☐	☐	☐	☐

	☐	☐	☐	☐	☐
5. Wie <u>interessant</u> war für dich die Simulation?	☐	☐	☐	☐	☐





Präsentiere die Informationen, wenn alle bereit sind.

- Schreibe nur wichtige Begriffe auf
- Nutze Symbole ($\rightarrow$ + - & $>$ $<$...)



Außen-
Temperatur



Fahrstil



Last-Gewicht



Route



Bitte beantworte nun die folgenden Fragen:

1. Wie einfach oder schwierig war es für dich die Aufgabe zu bearbeiten?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sehr sehr einfach	Sehr einfach	Einfach	Eher einfach	Weder noch	Eher schwierig	Schwierig	Sehr schwierig	Sehr sehr schwierig

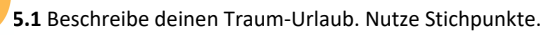
	Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
2. Wie <u>spannend</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
3. Wie <u>wichtig</u> war für dich der Inhalt der Aufgabe?	☐	☐	☐	☐	☐

	Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
4. Wie <u>interessant</u> war für dich die Arbeit mit dem Smartphone?	☐	☐	☐	☐	☐

	☐	☐	☐	☐	☐
5. Wie <u>interessant</u> war für dich der Text?	☐	☐	☐	☐	☐





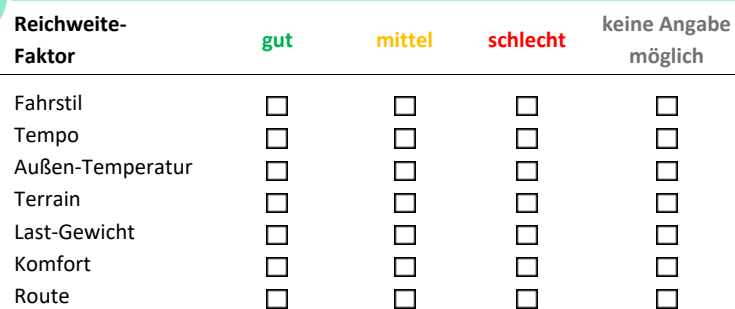
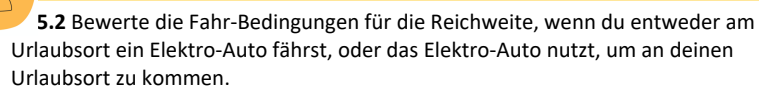
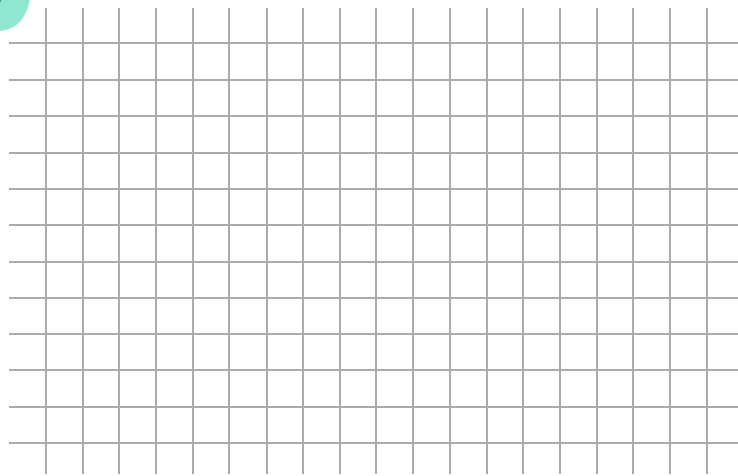
... Wo?

... Wann?

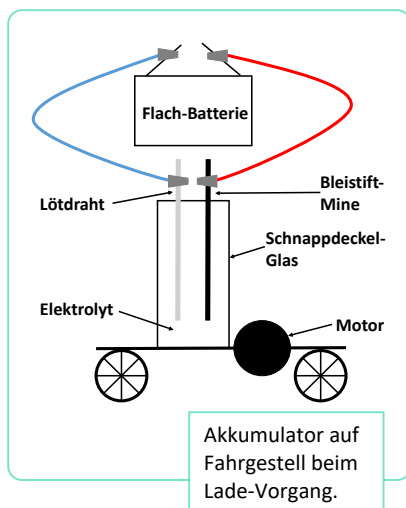
... Aktivitäten?

... Ausstattung?

...



Anleitung: Ein Modell-Elektroauto bauen



Materialien:

2 Pipetten

Becherglas

Wäge-Schälchen

Waage

Spatel

Glasstab

Klebeband

Flach-Batterie

2 Kabel

2 Krokodil-Klemmen

Fahrgestell mit Elektro-Motor

Schnappdeckel-Glas mit gelochtem Deckel

Chemikalien:

Dimethyl-Carbonat

Propylen-Carbonat

Lithium-Perchlorat

Bleistift-Mine

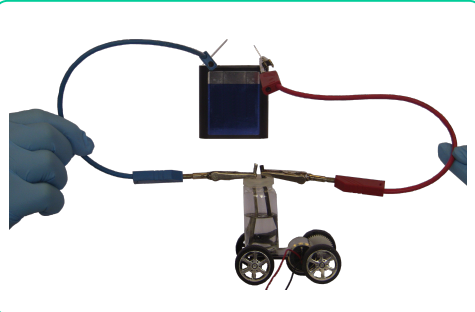
Lötdraht

1. Stelle eine Elektrolyt-Lösung her:

- Miss 15 ml Dimethyl-Carbonat mit einer Pipette ab. Fülle das Dimethyl-Carbonat in das Becherglas.
- Nimm eine neue Pipette. Miss 10 ml Propylen-Carbonat mit der neuen Pipette ab. Fülle das Propylen-Carbonat in das Becherglas.
- Wiege 2,7 g Lithium-Perchlorat in einem Wäge-Schälchen ab. Fülle das Lithium-Perchlorat in das Becherglas.
- Rühre die Flüssigkeit mit einem Glasstab.

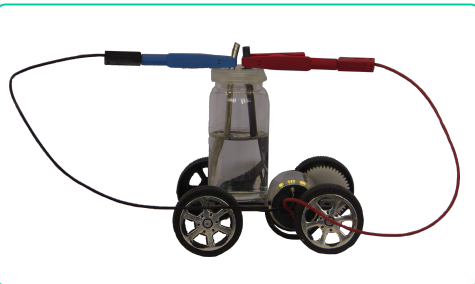
2. Baue den Akkumulator zusammen:

- Fülle die Elektrolyt-Lösung in das Schnappdeckel-Glas.
- Verschließe das Schnappdeckel-Glas mit dem Deckel.
- Führe die Bleistift-Mine und den Lötdraht durch die Löcher im Schnappdeckel. Die Bleistift-Mine und der Lötdraht dürfen sich **nicht** berühren.



3. Baue und lade das Modell-Auto:

- Befestige den Akkumulator mit dem Klebeband am Fahrgestell.
Der Akkumulator muss fest sitzen.
Die Hinter-Räder müssen sich drehen können.
- Schließe den Lötendraht an den Minuspol der Flach-Batterie an.
Schließe die Bleistift-Mine an den Pluspol der Flach-Batterie an.
Akkumulator und Motor dürfen noch nicht verbunden werden.
- Lass den Akkumulator 5 Minuten laden.
Schreibe deinen Gruppen-Namen auf ein Stück Kreppband.
Mit dem Kreppband kannst du später deine Reichweite markieren.



4. Lasse dein Modell-Auto fahren:

- Platziere das Modell-Auto an der Startlinie auf dem Fußboden.
- Verbinde jetzt das rote Motor-Kabel mit der Bleistift-Mine.
Verbinde das schwarze Motor-Kabel mit dem Lötendraht.
- Markiere deine Reichweite mit dem Kreppband.
Nimm dein Modell-Auto aus dem Weg.

Quellenverweis:

Der Bau des Akkumulators erfolgt mit geringfügigen Änderungen nach: Klaus, M. & Oetken, M. (o. D.). *Batteriesysteme der Zukunft auf Basis von legierungsfähigen Metallen in Theorie und Praxis für die Schule und Hochschule*.
www.gdch.de/fileadmin/downloads/Publikationen/Nachrichten_aus_der_Chemie/PDFs/Downloads/batteriesysteme.pdf
(abgerufen am 08.12.2020)

Testheft 1

Vorerhebung Schule

Liebe Schülerinnen und Schüler,

ihr nehmt an drei Workshops zum Thema „Elektromobilität“ und einer Untersuchung zur Nutzung von Smartphones im Unterricht teil. Im Rahmen des Projektes „smart for science“ soll untersucht werden, wie die Nutzung von Smartphones im Unterricht der Fächer Chemie, Mathematik und Physik gestaltet werden kann. Um dies herauszufinden, möchten wir euch befragen. Die Teilnahme und Angabe von Daten ist freiwillig und anonym.

Vielen Dank für eure Mithilfe!

PERSÖNLICHER CODE |

Wir möchten dich zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Durch den nachfolgenden Code können wir deine Angaben weiteren Befragungen zuordnen. Bitte verwende jeweils dieselben Buchstaben und Zahlen und nutze Großbuchstaben.

Zweiter Buchstabe deines eigenen Vornamens

Zweiter Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Zweiter Buchstabe des Namens der Straße deiner Adresse

Beide Ziffern des Tages deines Geburtsdatums, z. B. [0] [7] für den 7. Januar 2002

1 |

1.1 Ich bin... ☐ Weiblich ☐ Männlich ☐ Divers

1.2 Wie alt bist du? [] Jahre

1.3 Welche Sprache sprichst du zu Hause? []

Bitte beantworte nun die folgenden Fragen.

☐ ☐ ☒ ☐ ☐ - Kreuze im Folgenden zu jeder Frage jeweils ein Kästchen an.

☐ ☒ ☒ ☐ ☐ - Korrigiere evtl., indem du Kästchen vollständig „ausmalst“.

2 |

Wenn du über deine Klasse nachdenkst: Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu?

	Völlig falsch	Eher falsch	Eher richtig	Völlig richtig
2.1 Wenn jemand aus meiner Klasse Probleme hat, dann helfen die anderen gerne.	☐	☐	☐	☐
2.2 Manche in meiner Klasse versuchen selbst gut dazustehen, indem sie andere Schüler/innen ständig schlecht machen.	☐	☐	☐	☐
2.3 Unsere Klasse ist eine gute Gruppe, die zusammenhält, wenn's drauf ankommt.	☐	☐	☐	☐
2.4 Bei uns ist es selbstverständlich, dass die besseren Schüler/innen den schlechteren helfen.	☐	☐	☐	☐
2.5 Einige Schüler/innen stören immer wieder den Unterricht, obwohl die anderen konzentriert mitarbeiten möchten.	☐	☐	☐	☐
2.6 Manche Schüler/innen gehen durch dauerndes Stören nicht nur den Lehrer/innen auf den Geist, sondern auch uns ändern.	☐	☐	☐	☐

3 |

Im Folgenden findest du eine Reihe von Aussagen. Bitte gib für jede der Aussagen an, wie gut sie auf dich persönlich zutrifft.

		Trifft gar nicht zu				Trifft voll zu
3.1	Ich informiere mich über elektronische Geräte, auch wenn ich keine Kaufabsicht habe.	☐	☐	☐	☐	☐
3.2	Ich liebe es, neue elektronische Geräte zu besitzen.	☐	☐	☐	☐	☐
3.3	Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.	☐	☐	☐	☐	☐
3.4	Ich suche gerne online nach elektronischen Geräten.	☐	☐	☐	☐	☐
3.5	Es macht mir Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren.	☐	☐	☐	☐	☐

4 |

Gib bitte an, wie interessant du die folgenden Unterrichtsfächer findest. Bei Fächern, die du noch nicht gehabt hast, kreuze bitte das entsprechende Feld an.

		Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Noch nicht gehabt
4.1	Chemie	☐	☐	☐	☐	☐
4.2	Mathematik	☐	☐	☐	☐	☐
4.3	Physik	☐	☐	☐	☐	☐
4.4	Deutsch	☐	☐	☐	☐	☐
4.5	Geschichte	☐	☐	☐	☐	☐
4.6	Sport	☐	☐	☐	☐	☐

5 |

Bitte gib an, wie interessant du es im Unterricht findest...

		Gar nicht interessant	Eher nicht interessant	Interessant	Sehr interessant	Weiß nicht
5.1	bei der Bearbeitung von Aufgaben das Smartphone zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐
5.2	mit interaktiven Simulationen zu arbeiten.	☐	☐	☐	☐	☐
5.3	Erklärfilme zu betrachten.	☐	☐	☐	☐	☐
5.4	Messwerte digital aufzuzeichnen.	☐	☐	☐	☐	☐
5.5	mit digitalen Graphen zu arbeiten.	☐	☐	☐	☐	☐

6 |

Wie oft fühltest du dich im Verlauf der letzten zwei Wochen durch die folgenden Beschwerden beeinträchtigt?

		Überhaupt nicht	An einzelnen Tagen	An mehr als der Hälfte der Tage	Beinahe jeden Tag
6.1.	Wenig Interesse oder Freude an deinen Tätigkeiten.	☐	☐	☐	☐
6.2.	Niedergeschlagenheit, Schwermut oder Hoffnungslosigkeit.	☐	☐	☐	☐
6.3.	Nervosität, Ängstlichkeit oder Anspannung.	☐	☐	☐	☐
6.4.	Nicht in der Lage sein, Sorgen zu stoppen oder zu kontrollieren.	☐	☐	☐	☐

7 |

Nun möchten wir noch mehr über deine Person im Allgemeinen erfahren.

		Nie	Selten	Manchmal	Oft
7.1.	Wie häufig vermisst du die Gesellschaft anderer?	☐	☐	☐	☐
7.2.	Wie häufig fühlst du dich ausgeschlossen?	☐	☐	☐	☐
7.3.	Wie häufig fühlst du dich von anderen isoliert?	☐	☐	☐	☐

8 |

Im Folgenden findest du einige Aussagen über dein Alltagserleben. Bitte gib auf der bereitgestellten Skala an, wie sehr die Aussagen jeweils auf dich zutreffen. Bitte bewerte die Aussagen so, dass die Antworten deine wirklichen Empfindungen widerspiegeln und nicht die Empfindungen, die du möglicherweise haben solltest. Bitte bewerte alle Aussagen unabhängig voneinander.

		Trifft überhaupt nicht auf mich zu	Trifft etwas auf mich zu	Trifft mittel- mäßig auf mich zu	Trifft sehr auf mich zu	Trifft extrem auf mich zu
8.1.	Ich habe Angst, dass andere mehr bereichernde Erfahrungen machen als ich.	☐	☐	☐	☐	☐
8.2.	Ich habe Angst, dass meine Freunde mehr bereichernde Erfahrungen machen als ich.	☐	☐	☐	☐	☐
8.3.	Ich mache mir Sorgen, wenn ich herausfinde, dass meine Freunde ohne mich Spaß haben.	☐	☐	☐	☐	☐
8.4.	Ich werde unruhig, wenn ich nicht weiß, was meine Freunde planen.	☐	☐	☐	☐	☐
8.5.	Es ist wichtig, dass ich die Insider-Witze meiner Freunde verstehe.	☐	☐	☐	☐	☐
8.6.	Manchmal frage ich mich, ob ich zu viel Zeit darauf verwende, darüber auf dem Laufenden zu bleiben, was um mich herum passiert.	☐	☐	☐	☐	☐
8.7.	Es beunruhigt mich, wenn ich eine Gelegenheit verpasse, mich mit Freunden zu treffen.	☐	☐	☐	☐	☐
8.8.	Wenn ich eine gute Zeit habe, ist es mir wichtig, die Details online zu teilen (z. B. in Form von Statusupdates).	☐	☐	☐	☐	☐
8.9.	Es beunruhigt mich, wenn ich ein geplantes Treffen verpasse.	☐	☐	☐	☐	☐
8.10.	Wenn ich in den Urlaub fahre, verfolge ich weiterhin, was meine Freunde machen.	☐	☐	☐	☐	☐

Besitzt du ein Smartphone?

☐ Ja ☐ Nein

Falls du ein Smartphone besitzt („Ja“), beantworte bitte die folgenden Fragen.

Falls du kein Smartphone besitzt („Nein“), ist die Umfrage für dich beendet.

Welches Betriebssystem nutzt du auf deinem Smartphone?

☐ Android ☐ iOS ☐ Sonstiges, bitte eintragen [_____]

9 |

9.1 Wie viel Zeit verbringst du in einer durchschnittlichen Woche [_____] Stunden
ungefähr mit der Nutzung deines Smartphones?

Gemeint sind dabei sämtliche Aktivitäten mit dem Gerät, also z. B. im Internet surfen, telefonieren, spielen, Textnachrichten schreiben oder sonstige Aktivitäten. Bitte mach eine Angabe in Stunden.

9.2 Wie viel Zeit verbringst du in einer durchschnittlichen Woche [_____] Stunden
ungefähr mit der Nutzung deines Smartphones zum Lernen?

Gemeint sind dabei sämtliche lernbezogene Aktivitäten mit dem Gerät, also z. B. recherchieren, sich zum Lernen verabreden, Inhalte besprechen oder Lern-Apps nutzen. Bitte mach eine Angabe in Stunden.

Bitte bewerte, wie häufig du Folgendes mit dem Smartphone machst.

Normalerweise
nie

Fast jedes Mal,
wenn ich das
Smartphone
nutze.

9.3	Nachrichten schreiben	☐	☐	☐
9.4	Inhalte lesen (z. B. auf Instagram)	☐	☐	☐
9.5	Inhalte posten (z. B. auf Instagram)	☐	☐	☐
9.6	Spiele spielen	☐	☐	☐
9.7	Surfen	☐	☐	☐
9.8	Informationen für die Schule suchen	☐	☐	☐
9.9	Videos zum Lernen ansehen (z. B. bei Hausaufgaben)	☐	☐	☐
9.10	Unterrichtsinhalte besprechen (z. B. um Verständnisfragen zu klären)	☐	☐	☐
9.11	Lern-Apps nutzen	☐	☐	☐

Bitte denke bei der Beantwortung der folgenden Fragen an die Nutzung deines Smartphones während des vergangenen Jahres (also während der letzten 12 Monate). Bitte beantworte die Fragen so ehrlich wie möglich.

		Ja	Nein
9.12	Hast du im vergangenen Jahr regelmäßig das Gefühl gehabt, an nichts anderes mehr denken zu können als an den Moment, an dem du wieder dein Smartphone nutzen kannst?	☐	☐
9.13	Hast du dich im vergangenen Jahr regelmäßig unzufrieden gefühlt, weil du mehr Zeit mit deinem Smartphone verbringen wolltest?	☐	☐
9.14	Hast du dich im vergangenen Jahr oft unglücklich gefühlt, wenn du dein Smartphone nicht nutzen konntest?	☐	☐
9.15	Hast du im vergangenen Jahr erfolglos versucht, weniger Zeit mit deinem Smartphone zu verbringen?	☐	☐
9.16	Hast du im vergangenen Jahr regelmäßig andere Aktivitäten (z. B. Hobbys, Sport) vernachlässigt, weil du dein Smartphone nutzen wolltest?	☐	☐
9.17	Hast du im vergangenen Jahr regelmäßig Streit mit anderen wegen deiner Nutzung des Smartphones gehabt?	☐	☐
9.18	Hast du im vergangenen Jahr regelmäßig Eltern oder Freunde über das zeitliche Ausmaß deiner Nutzung des Smartphones angelogen?	☐	☐
9.19	Hast du im vergangenen Jahr oft dein Smartphone genutzt, um negativen Gefühlen zu entfliehen?	☐	☐
9.20	Hast du im vergangenen Jahr ernsthafte Konflikte mit deinen Eltern oder Geschwistern wegen deiner Nutzung des Smartphones gehabt?	☐	☐

Testheft 3.C

Erhebung Workshop – Chemie

Liebe Schülerinnen und Schüler,

ihr nehmt an drei Workshops zum Thema „Elektromobilität“ und einer Untersuchung zur Nutzung von Smartphones im Unterricht teil. Im Rahmen des Projektes „smart for science“ soll untersucht werden, wie die Nutzung von Smartphones im Unterricht der Fächer Chemie, Mathematik und Physik gestaltet werden kann. Um dies herauszufinden, möchten wir euch befragen. Die Teilnahme und Angabe von Daten ist freiwillig und anonym.

Vielen Dank für eure Mithilfe!

PERSÖNLICHER CODE |

Wir möchten dich zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Durch den nachfolgenden Code können wir deine Angaben weiteren Befragungen zuordnen. Bitte verwende jeweils dieselben Buchstaben und Zahlen und nutze Großbuchstaben.

Zweiter Buchstabe deines eigenen Vornamens

Zweiter Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Zweiter Buchstabe des Namens der Straße deiner Adresse

Beide Ziffern des Tages deines Geburtsdatums, z. B. [0] [7] für den 7. Januar 2002

Bitte beantworte nun die folgenden Fragen.

☐ ☒ ☐ ☐ - Kreuze im Folgenden zu jeder Frage jeweils ein Kästchen an.

☐ ☒ ☒ ☐ ☐ - Korrigiere evtl., indem du Kästchen vollständig „ausmalst“.

1 |

Bitte gib an, inwiefern du diesen Aussagen zustimmst.		Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
1.1	Ich denke, es ist wichtig, etwas über Chemie zu lernen, weil es nützlich für meinen Alltag ist.	☐	☐	☐	☐	☐
1.2	Ich denke, es ist wichtig, etwas über Chemie zu lernen, weil es mich zum Nachdenken anregt.	☐	☐	☐	☐	☐
1.3	Ich denke, es ist wichtig, im Chemieunterricht zu lernen, wie man Probleme löst.	☐	☐	☐	☐	☐
1.4	Ich denke, es ist wichtig, sich im Chemieunterricht an Untersuchungen zu beteiligen.	☐	☐	☐	☐	☐
1.5	Es ist wichtig für mich, die Möglichkeit zu haben, beim Lernen von Chemie meine eigene Neugier befriedigen zu können.	☐	☐	☐	☐	☐

2 |

Wie oft fühltest du dich im Verlauf der letzten zwei Wochen durch die folgenden Beschwerden beeinträchtigt?		Überhaupt nicht	An einzelnen Tagen	An mehr als der Hälfte der Tage	Beinahe jeden Tag
2.1.	Wenig Interesse oder Freude an deinen Tätigkeiten.	☐	☐	☐	☐
2.2.	Niedergeschlagenheit, Schwermut oder Hoffnungslosigkeit.	☐	☐	☐	☐
2.3.	Nervosität, Ängstlichkeit oder Anspannung.	☐	☐	☐	☐
2.4.	Nicht in der Lage sein, Sorgen zu stoppen oder zu kontrollieren.	☐	☐	☐	☐

3 |

Bitte gib an, wie spannend du es findest, etwas zu folgenden Fragen zu lernen.

		Gar nicht spannend	Eher nicht spannend	Spannend	Sehr spannend	Weiß nicht
3.1	Wie kann Energie bei einem Elektroauto effizient genutzt werden?	☐	☐	☐	☐	☐
3.2	Wie funktioniert eine Lithium-Ionen-Batterie?	☐	☐	☐	☐	☐
3.3	Unter welchen Bedingungen erzielen Elektroautos eine große Reichweite?	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte gib an, wie wichtig du es findest, etwas zu folgenden Fragen zu lernen.

		Gar nicht wichtig	Eher nicht wichtig	Wichtig	Sehr wichtig	Weiß nicht
3.4	Wie kann Energie bei einem Elektroauto effizient genutzt werden?	☐	☐	☐	☐	☐
3.5	Wie funktioniert eine Lithium-Ionen-Batterie?	☐	☐	☐	☐	☐
3.6	Unter welchen Bedingungen erzielen Elektroautos eine große Reichweite?	☐	☐	☐	☐	☐

4 |

Bitte gib an, inwiefern du diesen Aussagen zustimmst.

		Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
4.1	Ich bin sicher, dass ich Inhalte im Chemieunterricht verstehen kann, egal ob sie schwierig oder einfach sind.	☐	☐	☐	☐	☐
4.2	Ich traue mir nicht zu, schwierige Inhalte in der Chemie zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐
4.3	Ich bin mir sicher, dass ich bei Tests in Chemie gut abschneide.	☐	☐	☐	☐	☐
4.4	Egal wie sehr ich mich anstrengte, ich werde Chemie nicht lernen.	☐	☐	☐	☐	☐

<i>Bitte gib an, inwiefern du diesen Aussagen zustimmst.</i>		Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme teilweise zu	Stimme eher zu	Stimme voll und ganz zu
4.5	Wenn Aufgaben im Chemieunterricht zu schwierig sind, gebe ich auf oder bearbeite nur die einfachen Teile.	☐	☐	☐	☐	☐
4.6	Bei Aufgaben im Chemieunterricht frage ich lieber meine Mitschüler/innen nach der richtigen Antwort, als selbst nachzudenken.	☐	☐	☐	☐	☐
4.7	Wenn ich Inhalte im Chemieunterricht schwierig finde, versuche ich erst gar nicht, diese zu lernen.	☐	☐	☐	☐	☐

Testheft 4.C

Erhebung Workshop - Chemie

Liebe Schülerinnen und Schüler,

ihr nehmt an Workshops zum Thema Elektro-Mobilität und einer Untersuchung zur Nutzung von Smartphones im Unterricht teil. Im Rahmen des Projekts „smart for science“ soll untersucht werden, wie die Nutzung von Smartphones im Unterricht gestaltet werden kann. Um dies herauszufinden, möchten wir euer Wissen erheben. Die Teilnahme und Angabe von Daten ist freiwillig und anonym.

Vielen Dank für eure Mithilfe!

PERSÖNLICHER CODE |

Wir möchten dich zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Durch den nachfolgenden Code können wir deine Angaben weiteren Befragungen zuordnen. Bitte verwende jeweils dieselben Buchstaben und Zahlen und nutze Großbuchstaben.

Zweiter Buchstabe deines eigenen Vornamens

Zweiter Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

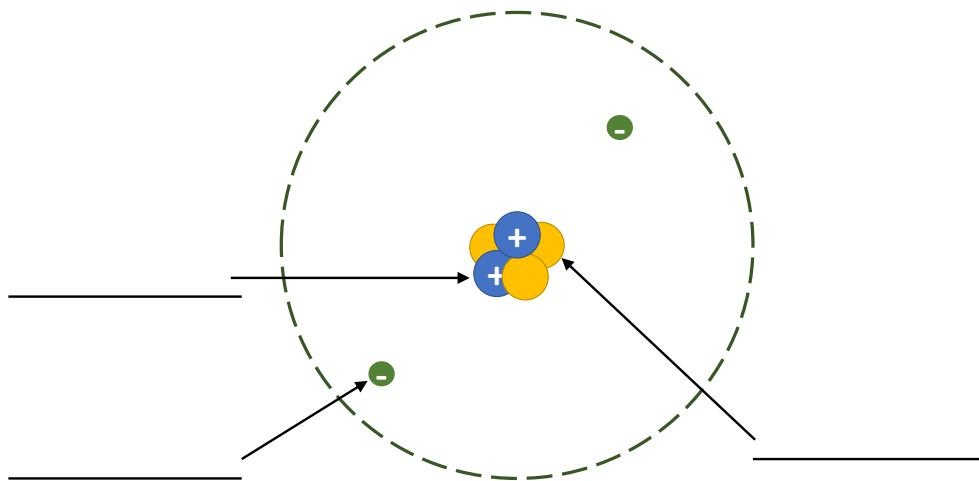
Zweiter Buchstabe des Namens der Straße deiner Adresse

Beide Ziffern des Tages deines Geburtsdatums, z.B. [0] [7] für den 7. Januar 2002

Teil 1: Vor-Kenntnisse

1 |

Benenne die Teilchen im Atom-Modell.



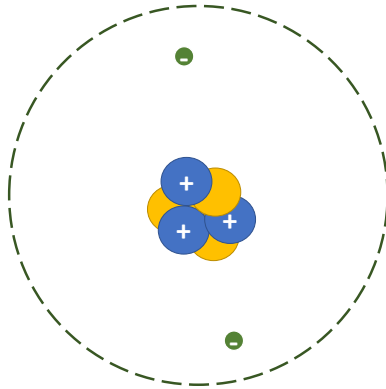
2 |

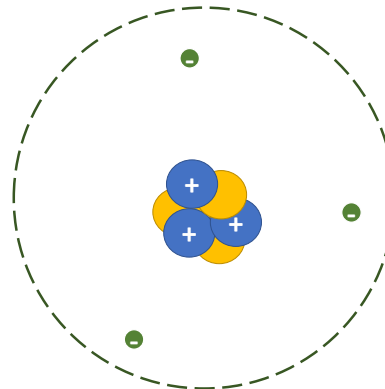
Ergänze den Lückentext:

„Ein Atom ist elektrisch geladen, wenn entweder mehr, oder weniger Elektronen als
 _____ vorliegen. Bei einem Elektronen-Mangel ist die Ladung von dem Atom
 _____. Bei einem Elektronen-Überschuss ist die Ladung von dem Atom
 _____.“

3 |

Ordne die Begriffe „Atom“ und „Ion“ dem passenden Modell zu.
Begründe deine Antwort.





Begründung:

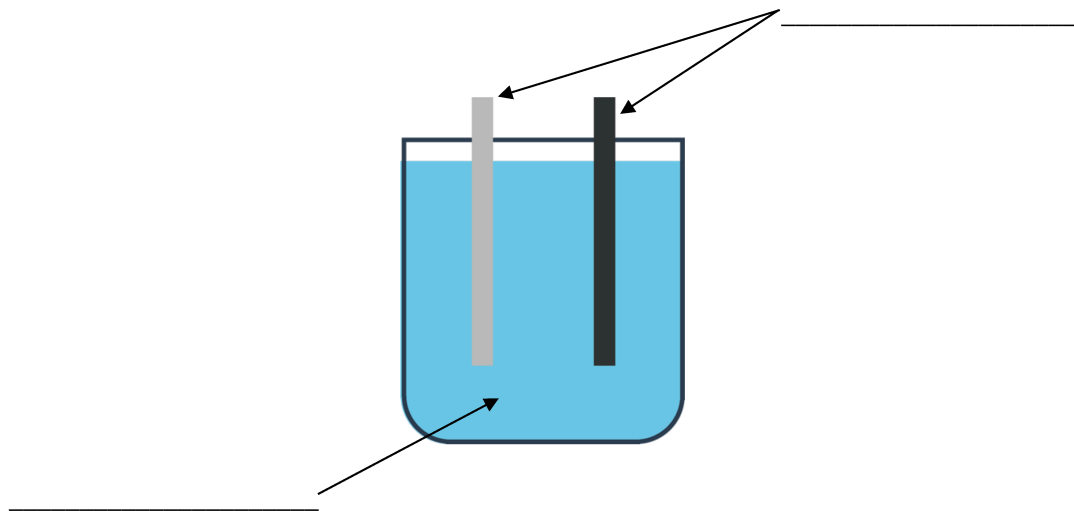
4 |

Wenn man über Elektro-Autos spricht, wird häufig der Begriff „Reichweite“ genannt.
Beschreibe, was du darunter verstehst.

Teil 2: Workshop-Kenntnisse

1 |

- a) Benenne die Bauteile von dem Akkumulator-Modell.



- b) Bewerte die Aussagen als **wahr** oder **falsch**.
 Markiere **weiß nicht**, wenn du die Aufgabe nicht lösen kannst, ohne zu raten.

	wahr	falsch	weiß nicht
Beim Laden wandern Ionen von den Elektroden in den Elektrolyten.	☐	☐	☐
Beim Laden wandern Elektronen vom Lade-Gerät zu den beiden Elektroden.	☐	☐	☐
Beim Laden bleiben die Elektroden elektrisch neutral.	☐	☐	☐
Beim Entladen wandern Ionen von den Elektroden in den Elektrolyten.	☐	☐	☐
Beim Entladen wandern Elektronen vom Motor in die beiden Elektroden.	☐	☐	☐
Beim Entladen bleiben die Elektroden elektrisch neutral.	☐	☐	☐

21

Nenne Faktoren, die einen Einfluss auf die Reichweite von einem Elektro-Auto haben.

Nenne zu jedem Faktor auch den Bestwert, mit dem die größte Reichweite erzielt wird.

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Testheft 5.C

Erhebung Workshop - Chemie

Liebe Schülerinnen und Schüler,

ihr nehmt an Workshops zum Thema Elektro-Mobilität und einer Untersuchung zur Nutzung von Smartphones im Unterricht teil. Im Rahmen des Projekts „smart for science“ soll untersucht werden, wie die Nutzung von Smartphones im Unterricht gestaltet werden kann. Um dies herauszufinden, möchten wir euer Wissen erheben. Die Teilnahme und Angabe von Daten ist freiwillig und anonym.

Vielen Dank für eure Mithilfe!

PERSÖNLICHER CODE |

Wir möchten dich zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Durch den nachfolgenden Code können wir deine Angaben weiteren Befragungen zuordnen. Bitte verwende jeweils dieselben Buchstaben und Zahlen und nutze Großbuchstaben.

Zweiter Buchstabe deines eigenen Vornamens

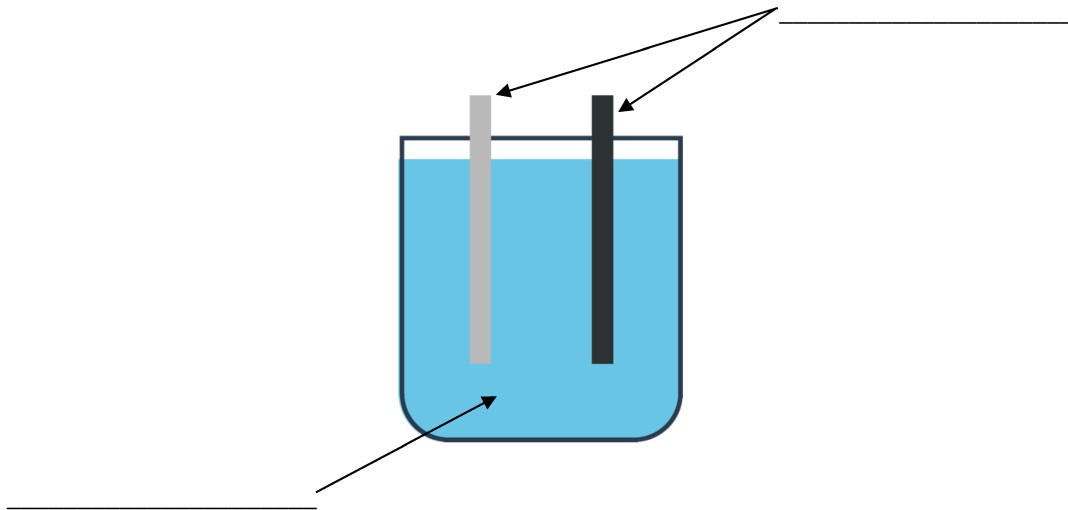
Zweiter Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Zweiter Buchstabe des Namens der Straße deiner Adresse

Beide Ziffern des Tages deines Geburtsdatums, z.B. [0] [7] für den 7. Januar 2002

1 |

a) Benenne die Bauteile von dem Akkumulator-Modell.



b) Bewerte die Aussagen als **wahr** oder **falsch**.
 Markiere **weiß nicht**, wenn du die Aufgabe nicht lösen kannst, ohne zu raten.

	wahr	falsch	weiß nicht
Beim Laden wandern Ionen von den Elektroden in den Elektrolyten.	☐	☐	☐
Beim Laden wandern Elektronen vom Lade-Gerät zu den beiden Elektroden.	☐	☐	☐
Beim Laden bleiben die Elektroden elektrisch neutral.	☐	☐	☐
Beim Entladen wandern Ionen von den Elektroden in den Elektrolyten.	☐	☐	☐
Beim Entladen wandern Elektronen vom Motor in die beiden Elektroden.	☐	☐	☐
Beim Entladen bleiben die Elektroden elektrisch neutral.	☐	☐	☐

2 |

Nenne Faktoren, die einen Einfluss auf die Reichweite von einem Elektro-Auto haben.

Nenne zu jedem Faktor auch den Bestwert, mit dem die größte Reichweite erzielt wird.

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Faktor: _____

Bestwert: _____

Sensitivitätsanalyse | Analyse getrimmter (Teil-)Datensätze

Zur Identifikation von Ausreißern x wurde das folgende von Hemmerich (2022) aufgeführte Maß genutzt:

$$M - 3 SD > x > M + 3 SD$$

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Die Identifikation von Ausreißern erfolgte datenpoolspezifisch. Nach dem Ausschluss möglicher Fehler in der Datenübertragung wurden Ausreißer aus den jeweiligen (Teil-)Datensätzen entfernt.

Gruppenübergreifender prä-post-Vergleich

Prä (Anteil korrekter Antworten in Prozent)	Post (Anteil korrekter Antworten in Prozent)
M = 6,86 SD = 8,15	M = 71,43 SD = 21,97
t(306) = -50,34 p < 0,001 d = 2,87	
Gepaarter t-Test	

Verglichen mit dem prä-Test (M = 6,86; SD = 8,15) erzielten die Lernenden einen signifikant höheren Anteil korrekter Antworten im post-Test (M = 71,43; SD = 21,97), t(306) = -50,34; p < 0,001; d = 2,87. Nach Cohen (1992) ist dieser Unterschied groß.

Gruppenspezifischer prä-post-Vergleich

BYOD		Pool	
Prä (Anteil korrekter Antworten in Prozent)	Post (Anteil korrekter Antworten in Prozent)	Prä (Anteil korrekter Antworten in Prozent)	Post (Anteil korrekter Antworten in Prozent)
M = 7,28 SD = 8,40	M = 70,35 SD = 21,75	M = 6,21 SD = 7,51	M = 72,36 SD = 22,17
t(155) = -34,54 p < 0,001 d = 2,77		t(149) = -36,54 p < 0,001 d = 2,98	
Gepaarter t-Test		Gepaarter t-Test	

In der BYOD-Gruppe erzielten die Lernenden einen signifikant höheren Anteil korrekter Antworten im post-Test (M = 70,35; SD = 21,75) im Vergleich zum prä-Test (M = 7,28; SD = 8,40), t(155) = -34,54; p < 0,001; d = 2,77. Dasselbe gilt für die Lernenden der Pool-Gruppe mit signifikant höheren Ergebnissen im post-Test (M = 72,36; SD = 22,17) als im prä-Test (M

= 6,21; SD = 7,51), $t(149) = 36,54$; $p < 0,001$; $d = 2,98$. Nach Cohen (1992) sind beide Unterschiede als groß zu bewerten.

Gruppenvergleich der Lernleistung (Differenz der Anteile korrekter Antworten aus post- und prä-Test)

BYOD (Differenzen der Anteile korrekter Antworten in post- und prä-Test in Prozentpunkten)	Pool (Differenzen der Anteile korrekter Antworten in post- und prä-Test in Prozentpunkten)
M = 62,15 SD = 23,62	M = 65,51 SD = 22,12
$t(314) = -1,30$ $p = 0,193$	
Ungepaarter t-Test	

Die mittlere Lernleistung der BYOD-Gruppe (M = 62,15; SD = 23,62) ist geringfügig kleiner als die mittlere Lernleistung der Pool-Gruppe (M = 65,51; SD = 22,12). Dieser Unterschied ist nicht signifikant, $t(314) = -1,30$; $p = 0,193$.

Gruppen- und Messzeitpunktbezogene Effekte

Haupteffekt Messzeitpunkt (within-subject)	$F(1,304) = 2533,538$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,794$
Haupteffekt Gruppe (between-subject)	$F(1,304) = 0,115$; $p = 0,735$; $\eta^2 = 0,001$
Interaktionseffekt	$F(1,304) = 1,436$; $p = 0,232$; $\eta^2 = 0,002$
Gemischte Varianzanalyse	

Eine gemischte Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Haupteffekt mit einer nach Cohen (1988) großen Effektstärke in Bezug auf den Messzeitpunkt ($F(1, 304) = 2522,538$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,794$), jedoch keinen signifikanten Effekt in Bezug auf die Gruppenzugehörigkeit ($F(1, 304) = 0,115$; $p = 0,735$; $\eta^2 < 0,001$). Es liegen keine signifikanten Interaktionseffekte vor, $F(1, 304) = 1,436$; $p = 0,232$; $\eta^2 = 0,002$.

Literatur

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. ISBN: 0805802835

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155 – 159.

Hemmerich, W. A. (2023). *Ungepaarter t-Test: Mit Ausreißern umgehen*.

<https://statistikguru.de/spss/ungepaarter-t-test/mit-ausreissern-umgehen-5.html> (zuletzt aufgerufen am 04.01.2023)

Fachspezifischer sfs-Codierleitfaden: Chemie

Vorgenommene Änderungen am fächerübergreifenden Codierleitfaden vom 10.05.2021:

- Alle Kategorien, die fachspezifisch für andere Fächer (und nicht passend für den Chemie-Workshop) sind, wurden entfernt
- Die Codievorschrift für Workshop-Phasen wurde vor die entsprechenden Kategorien gesetzt, sodass eine Wiederholung von Formulierungen vermieden wird
- Die Beispielsequenzen anderer Fächer wurden gelöscht
- Der Begriff „off-task“ wurde durch den Begriff Distraction ersetzt
- Die Kategorien zum Forschungssetting wurden gelöscht
- Die zwei Kategorien Smartphone-Bezug verbal / non-verbal wurden in eine Kategorie überführt. Eine Aufteilung wird hier nicht für notwendig erachtet, weil diese Kategorie den Kategorien OTV und OTNV untergeordnet ist
- Die Kategorien Musik-App und Video-App wurden ergänzt
- Die Kategorie News-App wurde entfernt
- Weitere Ankerbeispiele wurden hinzugefügt

Code-Übersicht

Kürzel	Bedeutung		Spiel	Spiele
IP	Interaktive Präsentation		Mu	Musik
LV	Lehervortrag		Vi	Video
UG	Unterrichtsgespräch		Kam	Kamera
EV	Erklärvideo		BildB	Bild-Bearbeitung
PA	Analoge Partnerarbeit		BildG	Bilder-Galerie
DML	Digitale Musterlösung		DWM	Digitales Workshop-Material
S	Simulation		NVSPX	Sonstige
DET	Digitaler Erklärtext		LSPH	Leerlauf-Smartphone-Handlung
GA	Analoge Gruppenarbeit		EinL	Einstellungen Leerlauf
EA	Analoge Einzelarbeit		SML	Social Media Leerlauf
O	Organisation		SpielL	Spiele Leerlauf
LE	Laboreinheit		MuL	Musik Leerlauf
E	Erhebung		ViL	Video Leerlauf
L	Leerlauf		KamL	Kamera Leerlauf
P	Pause		BildBL	Bildbearbeitung Leerlauf
DV	Distraction verbal		BildGL	Bilder-Galerie Leerlauf
DNV	Distraction non-verbal		DWML	Digitales Workshop-Material Leerlauf
SPBV	Smartphone-Bezug verbal		NVSPXL	Sonstige Leerlauf
SPBNV	Smartphone-Bezug non-verbal			
Ein	Einstellungen			
SM	Social Media			

Codierung von Workshop-Phasen

Inhaltliche Arbeitsphasen
Codiervorschrift für Workshop-Phasen (inhaltlich sowie nicht-inhaltlich) Die Codierung einer Workshop-Phase beginnt, wenn ... Insb. (aber nicht ausschließlich) für interaktive Präsentation, Lehrervortrag, Unterrichtsgespräch, Laboreinheit, Erklärvideo, analoge Partnerarbeit, digitale Erklärtexte: ... die workshopleitende Person einen Redebeitrag zur Einleitung der Phase beginnt. Dies kann bspw. durch eine Aufforderung zu Bearbeitung einer Aufgabe erfolgen. Die Beiträge können mit Signalwörtern wie „Okaaaaaay“, „Guuuuut“, „Soooooooo“ beginnen. Die Codierung startet mit dem ersten hörbaren Ton des Beitrags. Insb. (aber nicht ausschließlich) für Musterlösung, Simulation: ... die brillentragende Person selbstständig in diese Phase wechselt, indem sie sich der Aufgabe im Workbook zuwendet. Diese Zuwendung wird sichtbar durch bspw. (1) optische Fokussierung der Aufgabe oder (2) lautes Vorlesen der Aufgabenstellung. Die Codierung der Phase endet, sobald die Codierung einer neuen Phase anfängt. Das Videomaterial kann folglich nicht doppelt- oder stellenweise gar nicht in Bezug auf eine Phase codiert sein.

Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Beispiele
[IP] Interaktive Präsentation	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden im Plenum an einer Aufgabe arbeiten, welche die Nutzung einer interaktiven Präsentation beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion, das Scannen des QR-Codes, die Eingabe von Antworten im Smartphone, das Aufzeigen und themenbezogene sich-zu-Wort-Melden im Plenum und das stille Zuhören.	CH-CBG_9c-Cf82-MOI0001.mp4 (0:00:25.8 – 0:04:54.1)
[LV] Lehrvortrag	Die workshopleitende Person trägt Informationen in einem zusammenhängenden Redebeitrag vor. Der Lehrervortrag zeichnet sich durch einen Beitrag hinlänglicher Struktur und Dauer aus. Intendierte Handlungen der Brillentragenden beinhalten bspw. das stille Zuhören.	CH-CBG_9c-Cf82-MOI0001-mp4 (0:06:18.2 – 0:10:48.6)
[UG] Unterrichtsgespräch	Die Workshopleitung hat ein Unterrichtsgespräch eröffnet. Ihre Fragen werden von den Teilnehmenden im Plenum beantwortet. Intendierte Handlungen der Brillentragenden beinhalten bspw. das stille Zuhören, Aufzeigen und themenbezogenes sich-zu-Wort-Melden.	CH-CBG_9c-QM92-MOI0004.mp4 (0:08:38.9 - 0:10:33.4)
[EV] Erklärvideo	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Einzelarbeit an einer Aufgabe arbeiten, welche die Nutzung eines Erklärvideos beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion, das Scannen des QR-Codes, das Hervorholen von Kopfhörern, das Betrachten des Erklärvideos und das Notieren von Antworten im Workbook.	CH-CBG_9c-QM92-MOI0004.mp4 (0:00:00.0 - 0:04:18.6)
[PA] Analoge Partnerarbeit	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Partnerarbeit an einer Aufgabe arbeiten, die ausschließlich die Nutzung von analogem Workshopmaterial beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion oder eines Textes, das aufgabenbezogene Diskutieren und das Notieren von Antworten im Workbook.	

[DML] Digitale Musterlösung	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Partnerarbeit an einer Aufgabe arbeiten, welche die Nutzung einer digitale Musterlösung beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion, das Scannen des QR-Codes, das Lesen eines online-Textes, das Diskutieren und das Abhaken oder Korrigieren der eigenen Lösung im Workbook.	CH-Heriburg_9-GI70-MOVI0005.mp4 (0:02:53.8 - 0:08:29.5)
[S] Simulation	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Partnerarbeit an einer Aufgabe arbeiten, welche die Nutzung einer Simulation beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion, das Scannen des QR-Codes, das Eingeben von Werten in der Simulation und das Notieren von Antworten im Workbook.	
[DET] Digitaler Erklärttext	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Einzelarbeit an einer Aufgabe arbeiten, welche die Nutzung eines digitalen Erklärttexts beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen der Instruktion, das Scannen des QR-Codes, das Lesen des online-Textes und das Notieren von Stichpunkten im Workbook.	CH-Plus-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:00:00.0 - 0:15:45.7)
[GA] Analoge Gruppenarbeit	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Gruppenarbeit an einer Aufgabe arbeiten, die ausschließlich die Nutzung von analogem Workshopmaterial beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Koordinieren des Gruppengesprächs, das Vortragen von Informationen, sowie Nachfragen und stilles Zuhören.	CH-Plus-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:13:32.9 – 0:15:47.7)
[EA] Analoge Einzelarbeit	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden in Einzelarbeit an einer Aufgabe arbeiten, die ausschließlich die Nutzung von analogem Workshopmaterial beinhaltet. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Lesen einer Instruktion oder eines Textes und das Notieren von Antworten im Workbook.	

Nicht-inhaltliche Arbeitsphasen		
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung; ggf. weiterführende Codievorschrift	Beispiele
[O] Organisation	Brillentragende und die workshopleitende Person führen Maßnahmen zur Organisation des Workshops durch. Beobachtbare Handlungen sind bspw. das Austeilen von Kamerabrillen zu Beginn des Workshops, sowie nach der Laborphase oder dem Konzentrationstest.	MA-Pius_Coesfeld-EA15-MOVI0000.mp4 (0:00:00.0 – 0:02:23.4)
[LE] Laboreinheit	Es ist intendiert, dass die Brillentragenden Handlungen ausführen, welche der Einhaltung der vorgetragenen Sicherheitsmaßnahmen oder der Versuchsvorschrift entsprechen. Intendierte Handlungen beinhalten bspw. das Verstauen von Arbeitsmaterial und das Absetzen der Kamerabrille.	
[E] Erhebung	Die Brillentragenden bearbeiten ein analoges Erhebungsinstrument.	CH-Pius-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:16:47.5 – 0:18:41.2)
[L] Leerlauf	Die Brillentragenden haben alle Arbeitsaufträge erfüllt. Es besteht kein neuer inhaltlicher Arbeitsauftrag oder die Weiterarbeit an einer Aufgabe ist aufgrund von organisatorischen Hindernissen nicht möglich. Weiterführende Codievorschrift: Codiert wird sobald die letzte Erhebung ausgefüllt wurde und ein Stoppzeichen folgt. ... aus organisatorischen Gründen keine Weiterarbeit möglich ist. Dies ist bspw. der Fall, wenn die brillentragende Person auf andere Personen (z. B. Gruppenmitglieder) oder die Klärung eines organisatorischen oder technischen Problems warten muss, um selbst weiterarbeiten zu können.	CH-CBG_9c-CF82-MOVI0001.mp4 (0:05:55.9 – 0:06:18.2)

[P] Pause	Die Workshopleitung oder das Klingeln der Schulglocke hat eine Pause eingeleitet (abhängig von der Abmachung im konkreten Workshop). Weiterführende Codiervorschrift: Codiert wird sobald... ... die workshopleitende Person eine Pause ansagt. ... eine Aufgabe beendet wurde, nachdem die workshopleitende Person angekündigt hat, dass auf das Beenden der Aufgabe eine Pause folgt. ... das Klingeln der Glocke eine Pause einleitet (und keine widersprüchlichen Angaben durch die Lehrperson gemacht wurden).	CH-Heriburg_9-DQ31-Heriburg_9-G170 (0:00:00.0 - 0:02:53.8)
-----------	--	---

Codierung des Distraktionsverhaltens

Distraktionsverhalten			
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Beispiel	Codiervorschrift
[DV] Distraktion verbal	Die brillentragende Person führt eine nicht-aufgabenbezogene Unterhaltung, tätigt einen nicht-aufgabenbezogenen Kommentar oder scheint solchen zuzuhören; Verbale Produktions- und/oder Rezeptionshandlungen entsprechen nicht der gemäß der codierten Arbeitsphase intendierten Form.	CH-Pius-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:00:35.0 - 0:00:52.4)	Codiert wird sobald... ... die brillentragende Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung tätigt. ... eine andere Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung tätigt, auf die eine Antwort der brillentragenden Person folgt. ... eine andere Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung tätigt, woraufhin der Blick der brillentragenden Person in Richtung der sich äussernden Person schaut. ... sich der Blick der brillentragenden Person in Richtung von mindestens zwei sich unterhaltenden Personen bewegt. Codiert wird bis... ... die letzte Äußerung innerhalb des Gesprächs getätigt wurde. ... sich der Blick der brillentragenden Person von den sich unterhaltenden Personen abgewandt hat. Codiert wird nicht... ... Handlungen in nicht-inhaltlichen Workshop-Phasen.

			... Kommentare und Gespräche, die aufgabenbezogener Form sind und dennoch nicht der Lösung der Aufgabe dienen. So werden bspw. Kommentare bezüglich des eigenen Antwort-Verhaltens während der interaktiven Präsentation, des Zeit-Managements während der Partnerarbeit und der Unterschiede von Lösungswegen nicht codiert. ... Gespräche über vorliegende Funktionsstörungen. Weiterführende Hinweise: Die Codierung von DV und DNV kann parallel erfolgen. Verbale Handlungen können gleichzeitig themenbezogen und nicht-aufgabenbezogen sein. Lachen / Kichern zu Beginn oder am Ende einer Unterhaltung werden als Teil dieser Unterhaltung verstanden.
[DNV] Distraction non-verbal	Die brillentragende Person führt nicht-aufgabenbezogene non-verbale Handlungen aus oder scheint nicht-aufgabenbezogenes non-verbales Geschehen zu beobachten; Die non-verbale Handlungen entsprechen nicht der gemäß der codierten Arbeitsphase intendierten Form...	CH-Pius-DQ31-MOV0004.mp4 (0:00:57.8 - 0:01:11.1)	Codiert wird sobald... ... eine Bewegung der Hand (oder anderer Körperteile) erfolgt, die in eine nicht-aufgabenbezogene Tätigkeit führt. ... der Blick der brillentragenden Person in Richtung einer nicht-aufgabenbezogenen Tätigkeit zeigt. Codiert wird bis... ... die non-verbale Handlung sichtbar eingestellt wurde.

			... sich der Blick der brillentragenden Person von der nicht-aufgabenbezogenen Handlung abgewandt hat. Codiert wird nicht... ... Handlungen in nicht-inhaltlichen Workshop-Phasen. ... non-verbale Handlungen, die nicht aufgabenbezogener Form sind, die aufgabenbezogenes Handeln jedoch nicht beschränken. So wird bspw. das Drehen eines Fidget-Spinners beim Folgen eines Lehrervortrags nicht codiert, sofern der Blick der brillentragenden Person auf die Präsentation gerichtet ist. ... Ausbleiben von Reaktionen auf potentielle Auslöser von Distraktionsverhalten. Bspw. werden Sequenzen mit aufleuchtendem Smartphone mit Pop-up-Nachricht nicht codiert, wenn der Blick der brillentragenden Person daraufhin nicht in Richtung des Smartphones zeigt. ... non-verbale Handlungen, die das Ziel Funktionsstörungen zu beheben verfolgen. Weiterführende Hinweise: Die Codierung von DV und DNV kann parallel erfolgen.
--	--	--	--

Codierung des Smartphone-Bezugs

Smartphone-Bezug (Unterkategorien von Distraktionsverhalten)			
Weiterführende Hinweise: Die codierte Distraktionshandlung kann sowohl einen durchgängigen, als auch lediglich stellenweisen Smartphone-Bezug aufweisen. In letzterem Fall werden lediglich diejenigen Abschnitte der Handlung codiert, die der Kategorie entsprechen.			
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Beispiel	Codiervorschrift
[SPBV] Smartphone-Bezug verbal	Die brillentragende Person führt eine verbale Distraktionshandlung aus, die in Bezug zu (1) mindestens eines der anwesenden Smartphones (2) Smartphones im Allgemeinen oder (3) der Nutzung von Smartphones steht. Die digitalen Inhalte, Funktionen und das Design des Smartphones stehen dabei im Vordergrund.	CH-Pius-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:04:44.1 - 0:04:45.5)	Codiert wird sobald... ... die brillentragende Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt. ... eine andere Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt, auf die eine Antwort der brillentragenden Person folgt. ... eine andere Person eine nicht-aufgabenbezogene Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt, woraufhin der Blick der brillentragenden Person in Richtung der sich äußernden Person schaut. ... sich der Blick der brillentragenden Person in Richtung von mindestens zwei Personen bewegt, die eine nicht-aufgabenbezogene Unterhaltung mit Smartphone-Bezug führen. Codiert wird bis... ... die letzte Äußerung innerhalb des Gesprächs getätigt wurde. ... sich der Blick der brillentragenden Person von den sich unterhaltenden Personen abgewandt hat.

[SPBNV] Smartphone- Bezug non- verbal	Die brillentragende Person führt eine non-verbale Distractions-handlung mit mindestens einem der anwesenden Smartphones aus. Hierbei wird das Smartphone nicht als einfacher physischer Gegenstand verwendet.	CH-Pius-DQ31-MOVI0004 (0:99:57.8 – 0:01_11.1)	Codiert wird sobald... ... eine Bewegung der Hand erfolgt, die in eine Interaktion mit digitalen Inhalten des Smartphones in nicht-aufgabenbezogener Form führt ... sich der Blick der brillentragenden Person in Richtung des Smartphone-Bildschirms bewegt und nicht-aufgabenbezogene digitale Inhalte sichtbar sind. Codiert wird bis... ... die nicht aufgaben-bezogene Interaktion mit dem Smartphone eingestellt wurde. ... sich der Blick der brillentragenden Person von dem Smartphone abgewandt hat.
--	---	--	--

Codierung der Applikation

Applikation (Unterkategorien von non-verbalem Distraktionsverhalten mit Smartphone-Bezug)		
Codievorschrift für Applikationen		
Die Codierung der non-verbalen Distraktionshandlungen mit Smartphone-Bezug wird durch eine Spezifizierung der genutzten Applikation ergänzt. Anfang und Ende der Codierung entsprechen denjenigen der Kategorien SPB. Werden innerhalb einer non-verbalen Distraktionshandlung mit Smartphone-Bezug unterschiedliche Applikationen verwendet, so wird die Codierung entsprechend dem Aufruf der Applikationen angepasst.		
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Ankerbeispiel
[Ein] Einstellungen	Die brillenträgende Person individualisiert ein Smartphone oder blickt auf ein Smartphone, während entsprechende Einstellungsmöglichkeiten aufgerufen sind. Entsprechende Handlungen umfassen bspw. die Änderung des Hintergrundbilds, der App-Namen, der Bildschirm-Beleuchtung (Dark-Mode) oder der Anordnung von Apps. Weiterführende Codievorschrift: Codiert wird nicht... ... Änderungen von Einstellungen, die der Bearbeitung einer Aufgabe dienen.	CH-Pius-DQ31-MOVI0004.mp4 (0:08:27.8 - 0:08:56.8)
[SM] Social Media	Die brillenträgende Person bedient eine Social Media-App oder eine funktionsgleiche Internetseite (z. B. Instagram, WhatsApp, TikTok, Snapchat) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind. Handlungen umfassen bspw. chatten, Bilder verschicken, Bilder oder Videos betrachten. Weiterführende Codievorschrift:	CH-Heriburg_9-GI70.mp4 (0:05:36.7 - 0:05:43.8)

	Codiert wird nicht... ... die Nutzung einer Kamerafunktion innerhalb der Social Media – App. In diesem Fall wird die Kategorie Kam verwendet. ... die Nutzung von YouTube. Diese Nutzung fällt unter die Kategorie VA.	
[Spiel] Spiele	Die brillenträgende Person bedient eine Spiele-App oder eine funktionsgleiche Internetseite oder blickt auf ein Smartphone während diese oder jene aufgerufen ist.	ph-25-11 NO 55.mp4 (0:01:18.8 – 0: 01:28.8)
[Mu] Musik	Die brillenträgende Person bedient eine Musik-App oder eine funktionsgleiche Internetseite (z. B. Spotify, iTunes) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind.	
[Vi] Video	Die brillenträgende Person bedient eine Video-App oder eine funktionsgleiche Internetseite, die vornehmlich der Bereitstellung von Videos dient (z. B. YouTube) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind.	CH-Pius-DQ31- MOV10004.mp4 (0:12:53.9 – 0:13:35:0)
[Kam] Kamera	Die brillenträgende Person bedient eine Kamera-App oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	Ma.Pascal_9e2- CO75- MOV10004.mp4 (0:06:24.0 – 0:07:14.5)
[BildB] Bild-Bearbeitung	Die brillenträgende Person bedient eine Bildbearbeitungsfunktion oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	
[BildG] Bildergalerie	Die brillenträgende Person bedient die Bildergalerie oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	
[DWM] Digitales Workshop-Material	Die brillenträgende Person bedient das digitale Workshop-Material nicht aufgaben-konform. Die Handhabung dient nicht der Bearbeitung der vorliegenden Aufgabe. Handlungen umfassen bspw. das Kommentieren oder Liken des Erklärvideos.	CH-Pius-DQ31- MOV10004.mp4 (0:00:57.8 - 0:01:11.1)

[NVSPX] Sonstige Applikationen	Die brillentragende Person führt eine non-verbale Distractionsbehandlung mit Smartphone-Bezug aus und bedient dabei digitale Funktionen. Die genutzte App kann jedoch nicht spezifiziert werden.	
--------------------------------	--	--

Codierung von Handlungen mit Smartphone-Bezug in Leerlauf-Phasen

Handlungen mit Smartphone-Bezug in Leerlauf-Phasen			
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Beispiel	Codiervorschrift
[LSPH] Leerlauf-Smartphone-Handlung	Innerhalb einer Leerlauf-Phase führt die brillentragende Person eine (non-) verbale Handlung aus, die in Bezug zu mindestens einem der anwesenden Smartphones oder Smartphones im Allgemeinen steht. Dabei stehen digitale Inhalte oder die Beschaffenheit eines oder allgemeinhin von Smartphones im Vordergrund.		Codiert wird sobald die brillentragende Person eine Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt. ... eine andere Person eine Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt, auf die eine Antwort der brillentragenden Person folgt. ... eine andere Person eine Äußerung mit Smartphone-Bezug tätigt, woraufhin der Blick der brillentragenden Person in Richtung der sich äußernden Person schaut. ... die brillentragende Person eine Bewegung vollzieht, die in eine non-verbale Handlung mit Smartphone-Bezug führt. ... der Blick der brillentragenden Person in Richtung einer non-verbalen Handlung mit Smartphone-Bezug gerichtet wird. Codiert wird bis die brillentragende Person die letzte Äußerung mit Smartphone-Bezug getätigt hat. ... sich der Blick der brillentragenden Person von den sich mit Smartphone-Bezug äußernden Personen abgewendet hat. ... die non-verbale Handlung mit Smartphone-Bezug sichtbar eingestellt wurde. ... sich der Blick der brillentragenden Person von der Handlung mit Smartphone-Bezug abgewandt hat.

Codierung von Applikationen, die innerhalb von Leerlauf-Phasen genutzt werden

Leerlauf-Applikation (Unterkategorien von Leerlauf-Smartphone-Handlung)		
Codiervorschrift für Leerlauf-Applikationen		
Die Codierung der Leerlauf-Handlungen mit Smartphone-Bezug wird durch eine Spezifizierung der genutzten Applikation ergänzt, sofern sie sich auf non-verbale Handlungen beziehen, die digitale Inhalte fokussieren. Anfang und Ende der Codierung entsprechen derjenigen der Kategorien LSPH. Werden innerhalb einer non-verbalen Leerlauf- Handlung mit Smartphone-Bezug unterschiedliche Applikationen verwendet, so wird die Codierung entsprechend dem Aufruf der Applikationen angepasst.		
Kategorie	Definition und weiterführende Beschreibung	Ankerbeispiel
[Ein.] Einstellungen Leerlauf	Die brillentragende Person individualisiert ein Smartphone oder blickt auf ein Smartphone, während entsprechende Einstellungsmöglichkeiten aufgerufen sind. Entsprechende Handlungen umfassen bspw. die Änderung des Hintergrundbilds, der App-Namen, der Bildschirm-Beleuchtung (Dark-Mode) oder der Anordnung von Apps.	
[SML] Social Media Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Social Media-App oder eine funktionsgleiche Internetseite (z. B. Instagram, WhatsApp, TikTok, Snapchat) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind. Handlungen umfassen bspw. chatten, Bilder verschicken, Bilder oder Videos betrachten. Weiterführende Codiervorschrift: Codiert wird nicht ...	

	... die Nutzung einer Kamerafunktion innerhalb der Social Media – App. In diesem Fall wird die Kategorie KamL verwendet. ... die Nutzung von YouTube. Diese Nutzung fällt unter die Kategorie ViL.	
[Spiel] Spiele Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Spiele-App oder eine funktionsgleiche Internetseite oder blickt auf ein Smartphone während diese oder jene aufgerufen ist.	
[MuL] Musik Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Musik-App oder eine funktionsgleiche Internetseite (z. B. Spotify, iTunes) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind.	
[ViL] Video Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Video-App oder eine funktionsgleiche Internetseite, die vornehmlich der Bereitstellung von Videos dient (z. B. YouTube) oder blickt auf ein Smartphone, während diese oder jene aufgerufen sind.	
[KamL] Kamera Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Kamera-App oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	
[BildBL] Bildbearbeitung Leerlauf	Die brillentragende Person bedient eine Bildbearbeitungsfunktion oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	
[BildGL] Bildergalerie Leerlauf	Die brillentragende Person bedient die Bildergalerie oder blickt auf ein Smartphone während diese aufgerufen ist.	
[DWML] Digitales Workshop-Material Leerlauf	Die brillentragende Person bedient das digitale Workshop-Material nicht aufgabenkonform, oder blickt auf ein Smartphone, während dieses aufgerufen ist. Die Handhabung dient nicht der Bearbeitung der vorliegenden Aufgabe. Handlungen umfassen bspw. das Kommentieren oder Liken des Erklärvideos.	
[NVSPXL] Sonstige Leerlauf	Die brillentragende Person führt eine non-verbale Distractionshandlung mit Smartphone-Bezug aus und bedient dabei digitale Funktionen. Die genutzte App kann jedoch nicht spezifiziert werden.	

Bisher erschienene Bände der Reihe

Lernen in Naturwissenschaften

ISSN 2566-493X

-
- | | | |
|---|-----------------------------|---|
| 1 | Maria Egbers | Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice2learn“
ISBN 978-3-8325-4510-9 53.00 EUR |
| 2 | Daniel Laumann | Magnetismus hoch 4. Fachliche Strukturierung und Entwicklung multipler Repräsentationen zum Magnetismus für die Hochschule
ISBN 978-3-8325-4571-0 60.50 EUR |
| 3 | Friederike Rohrbach-Lochner | Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerausbildung zu Schülervorstellungen. Entwicklung und Evaluation eines an Forschendem Lernen orientierten Seminarkonzepts
ISBN 978-3-8325-4944-2 53.50 EUR |
| 4 | Lisa Rott | Vorstellungsentwicklungen und gemeinsames Lernen im inklusiven Sachunterricht initiieren. Die Unterrichtskonzeption „choice2explore“
ISBN 978-3-8325-4817-9 83.00 EUR |
| 5 | Eva Julia Kolbeck | Schulung von Vermittlungsfähigkeiten Promovierender im Fach Chemie. Die Weiterbildung „How to communicate chemistry?“
ISBN 978-3-8325-4953-4 71.00 EUR |
| 6 | Björn Dellbrügge | Choice2interact. Interaktiv Lernen mit Tablets im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-5119-3 79.00 EUR |
| 7 | Felicitas Jürgensmeier | Offene Experimentiersituationen ermöglichen und charakterisieren. Eine Schülerlaboreinheit zu einem curricular innovativen Thema
ISBN 978-3-8325-5184-1 89.00 EUR |

- | | | |
|----|-----------------------------|---|
| 8 | Jan-Bernd Haas | chem.LEVEL. Fachsprachlich sensibler
Chemieunterricht auf Basis des Johnstone Dreiecks
ISBN 978-3-8325-5345-6 89.00 EUR |
| 9 | Florian Jungkamp | Kontroversen mit Hilfe wissenschaftlicher Prüfkriterien
bewerten. Die Unterrichtskonzeption choice ² reflect
ISBN 978-3-8325-5362-3 69.50 EUR |
| 10 | Christopher Kralisch | Wissenschaftskriterien verstehen und anwenden
Weiterentwicklung der Unterrichtskonzeption
choice ² reflect zur Bewertung gesellschaftlicher
Kontroversen
ISBN 978-3-8325-5517-7 91.50 EUR |
| 11 | Fabian Gust | Das Self-assembLAB. Entwicklung, Erprobung und
Optimierung eines curricular innovativen
Schülerlabors zum Thema Self-assembly
ISBN 978-3-8325-5517-7 85.50 EUR |
| 12 | Marius van den Boom | Die Unterrichtskonzeption <i>feil</i> . Fehlschlüsse
identifizieren lernen
ISBN 978-3-8325-5562-7 87.00 EUR |
| 13 | Larissa Katharina
Fühner | Experimentierpraxis im Spektrum der Möglichkeiten.
Eine rekonstruktive Analyse der Experimentierpraxis
im inklusionsorientierten Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-5562-7 59.50 EUR |
| 14 | Tobias Bergold | NAWI-Konzepte. Digitaler Transfer von neuen
Unterrichtskonzepten für den naturwissenschaftlichen
Unterricht mithilfe einer Website
ISBN 978-3-8325-5719-5 78.00 EUR |
| 15 | Yvonne Rath | Stolpersteine im Lehrerhandeln. Anbahnung eines
Handlungsrepertoires durch videobasierte Reflexionen
im Lehr-Lern-Labor
ISBN 978-3-8325-5769-0 89.00 EUR |
| 16 | Carolin Banse | Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer
Bewertungsscheibe. Entwicklung einer Konzeption für
den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel
Elektromobilität
ISBN 978-3-8325-5895-6 98.50 EUR |

- | | | |
|----|------------------------------|--|
| 17 | Fabienne Elisabeth
Kremer | Die Bereitstellungsform als Stellschraube im digital
gestützten Unterricht? Eine Beurteilung von BYOD und
Pool aus didaktischer Perspektive
ISBN 978-3-8325-6031-7 78.00 EUR |
| 18 | Pascal Dorweiler | Mathematische Grundvorstellungen im
Chemieunterricht. Entwicklung und Untersuchung
einer Unterrichtskonzeption zur Förderung des
Verstehens mathematisch-chemischer Begriffe
ISBN 978-3-8325-6077-5 90.50 EUR |

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN-Nummer direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Verstehen und *Entwickeln* bilden eine fachdidaktische Einheit: Das Verstehen von Lernprozessen hilft uns, innovative Lernangebote zu entwickeln und an Rahmenbedingungen anzupassen. Die Erprobung und Analyse dieser Angebote kann wiederum zu erweiterten Erkenntnissen und einem tieferen Verstehen führen. Diese Schriftenreihe rückt daher beide Aspekte in den Fokus – mit dem Ziel, das zu fördern, was uns als Naturwissenschaftsdidaktikern am Herzen liegt: das Lernen in Naturwissenschaften!

Aufbauend auf politischen Leitlinien und dem Ziel, digitale Lernmedien kompetenzfördernd im Unterricht einzusetzen, untersucht diese Dissertation den Einfluss unterschiedlicher Bereitstellungsformen auf die Lernwirksamkeit im schulischen Unterricht. Im Zentrum steht der Vergleich zwischen dem Einsatz persönlicher Geräte (BYOD) und der Nutzung eines zentral bereitgestellten Gerätepools (Pool).

Im Rahmen des Forschungsverbundprojekts smart for science wurden Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I in einem quasi-experimentellen Design untersucht. Drei aufeinanderfolgende Studien beleuchten unterschiedliche Aspekte: den Aufbau fachbezogenen Wissens, das nicht-lernbezogene Verhalten sowie den Zusammenhang zwischen beiden Variablen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Wissenszuwächse in beiden Bereitstellungsbedingungen. Signifikante Unterschiede sind nicht zu identifizieren. Auch Verhaltensanalysen liefern keine Hinweise auf systematische bereitstellungsbedingte Effekte. Ein Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Anteil nicht-lernbezogener Verhaltensmerkmale und dem Wissenszuwachs ist weiterhin nur für die Distraction mit dem Smartphone erkennbar.

Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass die Wahl der Bereitstellungsform keine zentrale didaktische Stellschraube darstellt. Entscheidungen über BYOD oder Pool sollten primär auf ökonomischen, sozialen, gesundheitlichen und organisatorischen Kriterien basieren.

ISBN 978-3-8325-6031-7

Logos Verlag Berlin

ISSN 2566-493X