

**Interdisziplinärer und multiperspektivischer Ansatz
zum Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht**

*Digitale Lernwerkzeuge und Lernbegleiter
im Chemieunterricht*

Dissertation

zur Erlangung des Grades
des Doktors der Naturwissenschaftslehre (Dr. phil. nat.)
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

von

Johann-Nikolaus Seibert

Saarbrücken

(2021)

Tag des Kolloquiums: 17.12.2021

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jörn Walter

Berichtersteller:

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Christopher W.M. Kay
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Franziska Perels
3. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Johannes Huwer

Vorsitz:

Univ.-Prof. Dr. Markus Peschel

Akad. Mitarbeiter:

Dr. Bernd Morgenstern

*„Der Ziellose erleidet sein Schicksal -
der Zielbewusste gestaltet es.“*

Immanuel Kant (1724 – 1804)

Danksagung

Dreieinhalb spannende Jahre gehen zu Ende und dies zeichnet sich nun endlich in dieser Dissertationsschrift aus. Während dieser Zeit hatte ich die Möglichkeit viele interessante Menschen kennenzulernen, von denen ich mittlerweile einige Freunde nennen.

Ich bedanke mich an dieser Stelle ganz besonders bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Christopher W.M. Kay, der mich durch seine machmal etwas andere „englische“ Sichtweise und zahlreiche Gespräche sehr dabei unterstützt hat, diese Promotion abzuschließen – und gleichermaßen bei Prof. Dr. Johannes Huwer für die fachdidaktische Betreuung und Begutachtung meiner Dissertation sowie für die gemeinsamen Jahre in der Forschung.

Ein weiteres besonderes Dankeschön richte ich an Frau Prof. Dr.ⁱⁿ Franziska Perels, die aus bildungswissenschaftlicher Sicht meine Dissertation betreut und begutachtet sowie diese um eine weitere spannende Komponente angereichert hat.

Für die erfolgreiche Zusammenarbeit inner- und außerhalb vieler Projekte und besonders für die Leitung des Promotionskolloquiums als Prüfungsvorsitzender möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Markus Peschel bedanken.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Bernd Morgenstern, der als Vertreter des akademischen Mittelbaus Teil des Prüfungskomitees innerhalb des Disputationskolloquiums gewesen ist.

Ein besonderer Dank gilt dem Arbeitskreis der Physikalischen Chemie und der Didaktik der Chemie an der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Universität des Saarlandes. Hier möchte ich ganz besonders der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik und allen (auch ehemaligen) Mitarbeiter*innen, Heike Luxenburger-Becker, Dr.ⁱⁿ Angela Munnia-Scholl, Matthias Marquardt, Petra Theobald, Karin Bröhl, Marco Zimmer, Dr. Daniel Rauber, Katharina Scholtes, Katrin Arendt, Katrin Heuser, Felix Ollinger, Nicola Mannl, Steve Wagner, Anika Hensgen, Hannah Lui, Isabel Schmoll, Eva Steuer, Emma Denne, Aline Carbon, Sarina Pinkle, Annika Bock, des NanoBioLabs danken. Ganz speziell möchte ich mich hier bei Vanessa Lang, Annika Eichinger, Michelle Gebhard, Thomas Ullinger und Dr. Clemens Matt bedanken, die

mich immer in meiner Arbeit unterstützt haben und ebenfalls in schweren Zeiten privat sowie beruflich motivieren konnten.

Während meiner Zeit an der Saar-Uni hatte ich auch das Glück, eine Vielzahl toller Kolleg*innen in verschiedenen Projekten und Fachrichtungen kennenzulernen. Zudem danke ich Dr.ⁱⁿ Mareike Kelkel, Dr.ⁱⁿ Sarah Bach, Dr.ⁱⁿ Christine Eckert, Bettina Schwandt, Dirk Hochscheid-Mauel, Pascal Khim und Luisa Lauer für anregende private und berufliche Gespräche.

Ganz Besonders danken möchte ich Frau Dr.ⁱⁿ Sabine Fey für die freundschaftliche und emotionale Beratung sowie Unterstützung während meiner gesamten Zeit an der Universität des Saarlandes.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meiner Partnerin bedanken, die mich bei der Realisierung und Finalisierung meiner Dissertation mit vollem Einsatz unterstützt und in jedem Moment an mich geglaubt haben.

Inhaltsverzeichnis

Seite

I.	Kurzzusammenfassung	III
II.	Abstract	IV
III.	Abkürzungen	V
IV.	Übersicht über alle Publikationen der kumulativen Dissertationsschrift	XV
1.	Einleitung: Interdisziplinäres Zusammenspiel für einen pädagogisch-didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht	1
1.1.	Fachdidaktische Perspektive	3
1.1.1.	Forschendes Lernen im Schülerlabor	3
1.1.2.	Individualisierung	6
1.1.3.	Visualisierung von Teilchen	8
1.2.	Fachmediendidaktische Perspektive	11
1.2.1.	Kompetenzen in der digitalen Welt	11
1.2.2.	Didaktische Funktionen digitaler Medien im Chemieunterricht	13
1.3.	Lernpsychologische Perspektive	15
1.3.1.	Multimedia Theory und Gestaltungsprinzipien digitaler Medien	15
1.3.2.	Selbstreguliertes Lernen	22
2.	Entwicklungsarbeit	33
	Publikationen der Dissertationsschrift im Überblick	34
2.1.	Erklärvideos als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht	37
2.1.1.	Das EXPlainistry - Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mit Hilfe digitaler Medien im Chemieunterricht	41
2.2.	Augmented Reality als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht	55
2.2.1.	EscapeLab im Chemieunterricht: Gamification als Lernwerkzeug zur Individualisierung	59
2.2.2.	Potential für „mehr Tiefe“ - Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht	67
2.2.3.	Neue Wege das Chemielabor zu erkunden: Der Augmented Reality Laborführerschein	75

2.2.4. Reale und digitale Inhalte verknüpfen: Den Aufbau des Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen	85
2.3. Interaktive eBooks, in Form von Multitouch Learning Books und Multitouch Experiment Instructions, als digitale Lernbegleiter im Chemieunterricht ...	95
2.3.1. Das Schulbuch 4.0: Das Multitouch Learning Book als Lernbegleiter	101
2.3.2. Verknüpfung von Lernwerkzeug, Lernbegleiter und Experimentalwerkzeug in einem Multitouch Learning Book	115
2.3.3. Multitouch Learning Books als Versuchsanleitung - Forschendes Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln	131
2.3.4. Förderung der Bildung für nachhaltige Entwicklung mit einem interaktiven digitalen Lernbegleiter	141
2.3.5. Multitouch Experiment Instructions für ein besseres Lernergebnis im Chemieunterricht	155
2.3.6. Förderung der Selbstregulation mit Hilfe von Multitouch Experiment Instructions zum Thema Wasseranalyse	167
2.3.7. Multitouch Experiment Instructions zur Förderung der Selbstregulation beim Forschenden Lernen im Schülerlabor	185
3. Zusammenfassung und Ausblick	197
4. Literatur	201
5. Anhang	223

I. Kurzzusammenfassung

Die Konzeption und der unterrichtliche Einsatz digital angereicherter Lehr-Lernszenarien im Fach Chemie kann durch eine interdisziplinäre und multiperspektivische Herangehensweise optimiert werden. Digitale Medien fokussieren als Lernwerkzeuge primär kognitive Lernprozesse in einer konkreten Unterrichtssituation, während Lernbegleiter eher auf Aspekte der Strukturierung (Fächergrenzen, Zeit und Ort) abzielen. Beide können daher zur Förderung von (meta-) kognitiven und motivationalen Lernprozessen und damit zur erhöhten Selbstregulation führen. Innerhalb verschiedener empirischer Studien wurden innerhalb dieser Dissertation digitale Lehr-Lerneinheiten für den Chemieunterricht entwickelt und auf ihre Lernwirksamkeit hin untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass der interdisziplinäre Charakter durch das Zusammenspiel von Fachdidaktik, Medien(fach)didaktik und Bildungswissenschaft bei der Realisierung verschiedener digitaler Lehr-Lernszenarien, förderlich bei der (digitale) Kompetenzentwicklung von Schüler*innen ist. Zur Untersuchung des gewinnbringenden Einsatzes digitaler Medien im Chemieunterricht auf Basis der Selbstregulation von Schüler*innen wurden mehrere digitale Lehr-Lernszenarien konzipiert und evaluiert, um den Mehrwert digitaler Medien in ihren verschiedenen didaktischen Funktionen zu untersuchen.

II. Abstract

The conceptual design and instructional use of digitally enriched teaching-learning scenarios in chemistry can be optimized through an interdisciplinary and multi-perspective approach. As learning tools, digital media primarily focus on cognitive learning processes in a concrete learning situation, while learning companions tend to focus on aspects of structuring (subject boundaries, time, and place). Both can therefore lead to the promotion of (meta-) cognitive and motivational learning processes and thus to increased self-regulation. Within various empirical studies, digital teaching-learning units for chemistry education were developed and examined for their learning effectiveness within this thesis. It was found that the interdisciplinary character through the interaction of didactics, media didactics and educational science in the realization of different digital teaching-learning scenarios is beneficial for the (digital) competence development of students. In order to investigate the profitable use of digital media in chemistry classes on the basis of students' self-regulation, several digital teaching-learning scenarios were designed and evaluated in order to investigate the added value of digital media in their various didactic functions.

III. Abkürzungen

AR	Augmented Reality
CTML	Cognitive Load Theory of Multimedia Learning
CLT	Cognitive Load Theory
ESD	Education for Sustainable Development
GFD	Gesellschaft für Didaktik
ICT	Information and Communication Technology
KMK	Kultusministerkonferenz
MEI	Multitouch Experiment Instruction
MLB	Multitouch Learning Book
PISA	Programme for International Student Assessment

IV. Übersicht über alle Publikationen der kumulativen Dissertationsschrift:

Publikation A:

Seibert, J., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2019) - EXPlainistry – Documentation, explanation and visualization of chemical experiments supported by ICT in schools. Journal of Chemical Education. doi: 10.1021/acs.jchemed.8b00819

Publikation B:

Seibert, J., Lang, V., Dörrenbächer-Ulrich, L., Marquardt, M., Perels, F., Kay, C. W. M. (2019). EscapeLab: Gamification als Lernwerkzeug zur Individualisierung im Chemieunterricht. Computer & Unterricht. Heft 115, 23-25.

Publikation C:

Seibert, J., Marquardt, M., Schmoll, I., Huwer, J. (2019) AR bringt mehr Tiefe in Experimentalanleitungen. Computer & Unterricht. Heft 114. 32-34.

Publikation D:

Huwer, J., & Seibert, J. (2018). A new way to discover the chemistry laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License. World Journal of Chemical Education, 6(3). 124-128. doi: 10.12691/wjce-6-3-4.

Publikation E:

Seibert J., Marquardt, M., Gebhard, M., Kay, C.W.M., Huwer, J. (2020). Augmented Reality zur Visualisierung der Teilchenebene am Beispiel des Li-Ion Akkus. Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 177/178, 86-91.

Publikation F:

Huwer, J., Bock, A., Seibert, J. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. American Journal of Educational Research, 6(6), 763-772. doi: 10.12691/education-6-6-27.

Publikation G:

Seibert, J., Marquardt, M., Pinkle, S., Carbon, A., Lang, V., Perels, F., Kay, C.M.W., Huwer, J. (2020). Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book, *World Journal of Chemical Education*. 8(1), 9-20. doi: 10.12691/wjce-8-1-2.

Publikation H:

Huwer, J., Seibert, J., Brünken, J. (2018). Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*. 2018(03), 181-186.

Publikation I:

Seibert J., Schmoll, I., Kay, C.W.M., Huwer, J. (2020). Promoting Education for Sustainable Development with an Interactive Digital Learning Companion Students Use to Perform Collaborative Phosphorus Recovery Experiments and Reporting. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00408

Publikation J:

Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., Kay, C.M.W., Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instructions for a Better Learning Outcome in Chemistry Education, *World Journal of Chemical Education*. 8(1), 1-8. doi: 10.12691/wjce-8-1-1

Publikation K:

Seibert, J., Ollinger, F., Perels, F., Kay, C. W., Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction and Self-Regulation. *International Journal of Physics & Chemistry Education*. 12(4). 75-88. doi: 10.51724/ijpce.v12i4.127

Publikation L:

Seibert, J., Heuser, K., Perels, F., Huwer, J., Kay, C.W.M. (2021). Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 98 (5). 1602-1609. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c01177

1. Einleitung: Interdisziplinäres Zusammenspiel für einen pädagogisch-didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht

Die Faszination für digitale Medien im Unterricht reicht mittlerweile Jahrzehnte zurück, allerdings wird noch oder insbesondere heute über die „Einführung digitaler Medien“ im Unterricht trotz bzw. gerade wegen ihrer Schnelligkeit im alltäglichen Leben diskutiert (GFD, 2018). Unser heutiges Zeitalter wird auch gerne als das digitale Zeitalter bezeichnet, da besonders in den letzten 20 Jahren digitale Medien unser alltägliches Leben durch die zunehmende Digitalität, aber auch unser Berufsleben (Schule) grundlegend verändert haben (KMK, 2017; Huwer et al. 2019). Zu Beginn dieser Arbeit existierte eine geringe Anzahl reflektierter, digital angereicherter Unterrichtsmaterialien, welche didaktisch sinnvoll konzipiert und evaluiert worden sind. Aus diesem Grund stellte sich die Frage, wie digital angereicherte Lehr-Lernszenarien für den Chemieunterricht konzipiert werden müssten, damit sie einen Mehrwert für das Lehren und Lernen liefern können. Zunächst muss allerdings eine für diesen Fall zutreffende und messbare Definition eines „Mehrwerts“ gefunden werden. Hierfür sollen in erster Linie Aspekte der Selbstregulation, auf Grund ihrer Stellung als Schlüsselkompetenz des lebenslangen Lernens, dazu dienen, Aussagen über den Mehrwert digitaler Medien beim Lernen im Fach Chemie treffen zu können.

Ziel dieser Arbeit soll es daher sein, praxisrelevante Lehr-Lernkonzepte mit Hilfe verschiedener Disziplinen und Perspektiven zu entwickeln, um, im Speziellen, Potentiale digitaler Tools für den Chemieunterricht aus fachdidaktischer, fachwissenschaftlicher, fachmediendidaktischer sowie bildungswissenschaftlicher Sicht aufzuzeigen.

Fachwissenschaftler*innen, Fachdidaktiker*innen, Mediendidaktiker*innen und Bildungswissenschaftler*innen diskutieren allesamt über den sinnhaften Einsatz digitaler Medien im Unterricht. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einsatz digitaler Medien aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und gewinnbringend miteinander in Beziehung zu setzen. Aus fachlicher und fachdidaktischer Sicht soll in dieser Arbeit besonderer Fokus auf die Aspekte der Relevanz, des Experimentierens im Schülerlabor, der Individualisierung im Chemieunterricht und auf die Visualisierungsmöglichkeiten von Teilchen und deren Modelle gelegt werden. Aus fachmediendidaktischer Sicht werden die Kompetenzen in der digitalen

Welt (KMK, 2016) in Beziehung mit den didaktischen Funktionen digitaler Medien im Chemieunterricht gesetzt, sodass auch hier aus einer fachlichen Sicht entsprechende digitale Lernformate in den Fachunterricht inkludiert werden können. Als letzte Perspektive soll der Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht aus einer pädagogisch-bildungswissenschaftlichen Sicht näher beleuchtet werden. Hierbei wird im Speziellen auf die Konzeption digitaler Lehr-Lern Formate unter Berücksichtigung verschiedener lernpsychologischer Aspekte Wert gelegt, wie der „Cognitive Load Theory of Multimedia Learning (CTML) (Meyer, 2007). Zudem wird aus bildungswissenschaftlicher Sicht der Aspekt des Selbstregulierten Lernens (z.B. Zimmerman, 2000) auf fachliche, fachdidaktische und fachmediendidaktische Aspekte bezogen und damit verbunden, um die Erkenntnisse der bildungswissenschaftlichen Forschung ebenfalls auf den Chemieunterricht zu übertragen.

1.1. Fachdidaktische Perspektive

Zur Konzeption, der in Kapitel 3 beschriebenen Lehr-Lernszenarien, wurden drei chemiedidaktische Aspekte in besonderem Maße fokussiert. Einer dieser Aspekte ist das Experiment, das als zentraler Baustein zur Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht gilt und somit hinsichtlich der Möglichkeiten digitaler Anreicherung untersucht wird. (KMK, 2004) In Abschnitt 2.1.1 wird einerseits das Experiment als solches im Chemieunterricht digital unterstützt und andererseits die fachdidaktische Methode des Forschenden Experimentierens in außerschulischen Lernorten, wie dem Schülerlabor, medial und lernpsychologisch verbessert werden. Diese Verbesserung einer rein analogen Methodik kann besonders unter Berücksichtigung des individualisierten Lernens geschehen. Wegen der zunehmenden Heterogenität innerhalb deutscher Schulen spielt eine solche Förderung eine immer bedeutsamere Rolle. Diese Aspekte der Individualisierung werden in Abschnitt 2.1.2 speziell für den Chemieunterricht thematisiert, um diese entsprechend in Kapitel 3 in den dargestellten Lehr-Lernszenarien durch den Einsatz digitaler Medien anzuwenden. Neben dem Experimentieren stellt die Modellbildung - speziell zu Teilchenmodellen - die zweite wichtige Komponente zum Erkenntnisgewinn im Chemieunterricht dar. Besonders bei der Visualisierung von Teilchen und deren dynamischer Prozesse weisen Schüler*innen häufig Probleme auf, vor allem wenn es darum geht, zwischen makroskopischen Beobachtungen und deren Erklärung auf submikroskopischer Ebene zu differenzieren. So soll in Abschnitt 2.1.3 der bewusste Umgang mit der Darstellung von Teilchen thematisiert werden, um diese ebenfalls innerhalb der Materialkonzeption in Kapitel 3 aufgreifen zu können, mit dem Ziel, entsprechende fachmediendidaktische und lernpsychologische Vorteile digitaler Medien in Bezug auf die Modellvorstellung bei Schüler*innen hervorzuheben.

1.1.1. Forschendes Lernen im Schülerlabor

Lernen ist ein Prozess, welcher in allen Lebenslagen stattfindet und nicht auf den schulischen Kontext beschränkt sein sollte. Durch die Ausweitung von Lernkontexten und der Vernetzung verschiedener Lernorte wird dies anerkannt. Somit existiert eine Entwicklung der Ausweitung von Lernumgebung über den schulischen Kontext hinaus zur Kombination mit außerschulischen, non-formalen Lernorten. Hierbei wird eine Unterscheidung zwischen formalem, nicht-formalem und informellem Lernen getroffen (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2000). Während sich formale Lernorte besonders auf den Schulkontext und informelle Lernumgebungen auf vom Curriculum und Schulkontext losgelöste Inhalte beziehen,

sind nicht-formale Lernorte außerschulische, aber dennoch von der Schule organisiert und von den Lernenden freiwillig in Anspruch genommen (Garner, Hayes & Eilks, 2014). Hierbei sind Schülerlabore unter dem Aspekt des non-formalen Lernens einzuordnen, welche ergänzend zu formalen Kontexten das Lernen der Schüler*innen fördern können (Garner, Hayes & Eilks, 2014). Unter Schülerlaboren versteht man in der Regel Lernorte, die von Schüler*innen außerhalb des schulischen Kontextes und abgegrenzt vom schulischen Unterricht zum Forschenden Experimentieren genutzt werden (Haupt, Domjahn, Martin, Skiebe-Corrette, Vorst, Zehren & Hempelmann, 2013). Weitere Voraussetzungen des Leitbildes Schülerlabor sind der Betrieb an mindestens 20 Tagen im Jahr, eine entsprechende Ausstattung des Labors und eine Betreuung durch Fachpersonal (ebd.).

Der recht allgemein gehaltene Begriff des Schülerlabors lässt sich in sechs Betriebsmodi unterscheiden (ebd.). Das „klassische Schülerlabor“ zeichnet sich durch bildungsnahen Themenfelder aus, welche Klassen im Klassenverband, und der Lehrkraft betreut, bearbeitet werden. „Schülerforschungszentren“ bieten besonders interessierten Schüler*innen die Möglichkeit zum eigenen Experimentieren im Rahmen von Projekten, welche vom Lehrplan losgelöst sind, zum Beispiel bei Teilnahme von Schüler*innen an „Jugend forscht“ oder ähnlichen Wettbewerben. Um aktuelle Forschungsthemen und Entwicklungen an Schüler*innen weiterzugeben, werden „Schülerlabore zur Wissenskommunikation“ von Forschungseinrichtungen betrieben. In ähnlicher Weise bieten Unternehmen „Schülerlabore mit Bezug zum Unternehmertum“ an, welche dazu dienen, Schüler*innen beim Besuch im Klassenverband Einblicke in Betriebsprozesse zu geben und so eine Orientierung für ihre berufliche Zukunft zu bieten. Lehr-Lern-Labore kombinieren das Experimentieren von Schüler*innen mit einer Betreuung durch Lehramtsstudierende im Rahmen von universitären Veranstaltungen der Didaktik (ebd.). Im Rahmen des Experimentierens im Schülerlabor spielt das forschende Lernen (inquiry-based learning) (Lamba, 2015) eine besondere Rolle, welches sich an konstruktivistische Ideen orientiert (García-Martínez & Serrano-Torregrosa, 2015). Das Forschende Lernen beim Experimentieren distanziert sich von einer Laborpraxis nach „Kochanleitung“, welche nur zur Replikation von Ergebnissen dient. Es zielt vielmehr auf die individuelle Rekonstruktion von Wissen und Fertigkeiten durch eigenständige Interaktion mit dem jeweiligen Fachinhalt ab, welcher durch ein entsprechendes Phänomen aus dem Alltag einen relevanten Kontext für die Schüler*innen liefern soll. Die individuelle Rekonstruktion impliziert eine sehr offen gehaltene Problemstellung, die die Lernenden lösen sollen. Diese

Öffnung wird auf Grund der heterogenen Lerngruppe über verschiedene Öffnungsgrade hinweg geschlossen.

Je nach Öffnungsgrad der Anleitung bezeichnet man das Experimentieren, welches sich auf die Replikation von bereits bekannten Ergebnissen abzielt als „confirmation inquiry“, während ein geleitetes Experimentieren unter dem Begriff „guided inquiry“ subsummiert wird. Ungeleitetes, von den Schüler*innen vollständig selbstständig geplantes Experimentieren wird mit dem Begriff „open inquiry“ beschrieben und entspricht dem höchsten Öffnungsgrad (Sommer, Wambach-Laicher & Pfeifer, 2018). In der Regel experimentieren Schüler*innen im Schülerlabor in Kleingruppen anhand einer analogen oder digitalen Experimentalanleitung im Rahmen des geleiteten forschenden Lernens beim Experimentieren. Der Öffnungsgrad kann durch Inanspruchnahme von Hilfestellungen zur Individualisierung des Lernprozesses zum strukturierten Experimentieren (structured inquiry) modifiziert, das bedeutet sukzessive geschlossen, werden. Die Unterscheidung besteht darin, dass beim geleiteten Forschenden Experimentieren nur die Aufgabenstellung in Form einer Problemstellung bzw. eines Forschungsauftrages vorgegeben wird, während die Methoden zur Untersuchung und Beantwortung sowie die Interpretation der Ergebnisse offen sind und durch die Schüler*innen gewählt werden. Beim strukturierten, forschenden Experimentieren werden hingegen auch die zur Bearbeitung der Forschungsfrage benötigten Methoden den Schüler*innen vorgegeben (Sommer et al., 2018).

Der Einsatz von forschendem Lernen besitzt laut Hattie-Studie einen mittleren Effekt auf den Lernerfolg der Schüler*innen. Hierbei stehen der eigenständige Problemlösungsprozess und die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Fokus und nicht das Finden der richtigen Antwort. Während der Effekt auf die Leistung der Lernenden eine mittlere Effektstärke ($d = 0.31$) aufweist, wirkt sich forschendes Lernen in deutlich größerem Maße auf das kritische Denken der Schüler*innen aus ($d = 1.02$) (Hattie et al., 2013). Es wurde zudem gezeigt, dass das forschende Experimentieren im Schülerlabor einen positiven Einfluss auf motivationale Effekte und den Wissenszuwachs besitzt (LeLa Magazin, 2014). Die beschriebenen Ergebnisse zum forschenden Lernen im Schülerlabor wurden unter dem Einsatz analoger Experimentalanleitungen erhoben. Der Einfluss möglicher digitaler Werkzeuge zur Anreicherung und die Frage nach einer zusätzlichen Steigerung der beschriebenen Faktoren, wurde in diesen Studien nicht erhoben und stellt deshalb ein Forschungsdesiderat dar, welches durch Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit geschlossen werden soll.

1.1.2. Individualisierung

Die zunehmende Heterogenität in deutschen Schulen stellt Lehrkräfte vor immer größere Herausforderungen. Eine Möglichkeit dies als Lernchance gewinnbringend in den Unterricht zu integrieren, sind individualisierte Lernformate (Reinmann, 2015). Im Chemieunterricht können diese Formate besonders bei kognitiven Lernprozessen, die einerseits das Fachwissen und andererseits auch Kompetenzen im Bereich des Erkenntnisgewinns betreffen, die Kommunikation und die Bewertung von Lerngegenständen einbeziehen, lernförderlich Einzug erfahren (ebd.). Im Zuge dieser Arbeit wurden anhand dieser Kompetenzbereiche verschiedene Individualisierungsmöglichkeiten betrachtet und in die in Kapitel 3 beschriebenen Lernformate integriert (siehe Abbildung 1). Die daraus resultierenden Kategorien verschiedener Hilfestellungen bzw. Aufgabenformate werden folgendermaßen strukturiert (Huwer, Seibert & Bock, 2018):



Abbildung 1 Hilfekategorien zur Individualisierung im Fach Chemie durch Integration farbiger und wiederkehrender Icons

1) Materialdifferenzierung:

Mit Hilfe verschiedener „medialer“ Formate können Lerninhalte den Schüler*innen präsentiert werden. Hierbei ist der Begriff „medial“ nicht nur in Form eines digitalen Mediums zu verstehen, sondern vielmehr als Art der Darbietung von Fachinhalt. Innerhalb dieser Kategorie werden vier Darstellungsformen je nach Anwendungsfall unterschieden (siehe Abbildung 1, blau). Fachinhalt kann somit in Form eines Videos, eines geschriebenen (analogen oder digitalen) Dokuments, eines Internetlinks oder eines (analogen oder digitalen) Lexikons/Glossars präsentiert werden. Je nach Anwendungsfeld, Lernziel und Zielgruppe können entsprechende Darstellungsmethoden ausgewählt, ggf. kombiniert und den verschiedenen Lerngruppen angeboten werden.

2) Aufgabendifferenzierung

Im Bereich der Aufgabendifferenzierung können durch den Einsatz digitaler Medien neue Aufgabenformate realisiert werden (Puentendura, 2007). Die in Anlehnung an das SAMR-Modell entwickelten Subkategorien differenzierender Aufgabenkategorien beinhalten analoge, aber auch digitale Formate. Besonders bei den in rot dargestellten Aufgaben (Schreiben/Notizen, Auswertung, Foto und Gehirnjogging) werden insbesondere solche Aufgabenformate verstanden, die vorrangig fachwissenschaftliche Kompetenzen fördern, aber auch den Erkenntnisgewinnprozess bei Schüler*innen unterstützen (Huwer, Bock & Seibert, 2018). Für den dritten Kompetenzbereich der Kommunikation wurden entsprechende Aufgaben kategorisiert, die die Kommunikation und Kollaboration zwischen Schüler*innen initiieren und aufrechterhalten. Im Sinne der Breitendifferenzierung wurden noch mit der „Übung“ und des „Serious Learning Games“ zwei weitere Kategorien differenzierender Aufgabenformate etabliert. Erstere kann sowohl als Aktivierung von Vorwissen als auch zur schüler*innenzentrierten Entwicklung des Lernstoffs eingesetzt und multifunktional instrumentalisiert werden (Gabriel et al., 2008). Diese beiden Eigenschaften treffen ebenfalls auf „Serious Learning Games“ zu. Diese können insbesondere dazu eingesetzt werden, um schnell arbeitende Schüler*innen zusätzlich im Unterricht zu fordern und durch einen spielähnlichen Lerngegenstand den Transfer von Wissen in eine neue Lernumgebung zu initiieren.

3) Differenzierende Hilfestellung

Beim Experimentieren im Chemieunterricht kommen häufig vier Arten von Problemen vor, die sich auf Verständnis, Sprache, Experiment oder Geräte beziehen und denen, durch entsprechende differenzierende Hilfestellungen, entgegengewirkt werden kann. Im Chemieunterricht gilt die Kompetenz des „Fachwissens“ als eine der vier Kompetenzbereiche innerhalb der fachlichen Kompetenzentwicklung in der Sekundarstufe 1. Somit können, in Anlehnung an die fünf Basiskonzepte, Verständnisprobleme als eine Hauptkategorie für differenzierende Hilfestellungen angesehen werden. Hierbei handelt es sich um rein kognitive Probleme, die besonders das chemische Fachwissen in Bezug auf die klare Unterscheidung zwischen makroskopischer Ebene und submikroskopischer Ebene thematisieren. Weiter können beim Experimentieren selbst Schwierigkeiten auftreten, die zu Problemen beim Erarbeiten eines Sachinhaltes führen können. Besonders im Zusammenhang mit digitalen Experimentalwerkzeugen treten natürlicherweise Probleme auf, die gerätetechnischer Natur

sind. Eine weitere Hilfekategorie sind die Sprachhinweise. Darunter werden alle Probleme verstanden, die einerseits muttersprachliche Stolpersteine thematisieren aber auch andererseits fachsprachliche Probleme beheben sollen. In allen in Kapitel 3 entwickelten Lehr-Lernszenarien wurden alle diese Hilfekategorien implementiert, um ein individualisiertes Unterrichten im Chemieunterricht zu ermöglichen.

1.1.3. Visualisierung von Teilchen

Besonders in der Chemie ist der Umgang mit modellhaften Vorstellungen von Teilchen wichtig (KMK, 2004). Hierbei stellt genau dieser bewusste Umgang und die klare Differenzierung von der sichtbaren Makroebene Schüler*innen vor große Herausforderungen, die es daraus resultierend im Chemieunterricht zu unterstützen gilt. Eine Möglichkeit dies bei Schüler*innen zu trainieren, stellt das Modell des chemischen Dreiecks nach Johnstone (1999) dar. Er entwickelte das sogenannte „Chemistry Triangle“ Model (dt.: Modell des chemischen Dreiecks), welches verschiedene Darstellungsebenen von „Teilchen“ voneinander unterscheidet. Die makroskopische, greifbare Ebene beschreibt Dinge, die man sehen, berühren und/oder riechen kann. Die unterschiedlichen Darstellungen von Atomen, Molekülen, Ionen und Strukturen bilden die submikroskopische Ebene, auch Teilchenebene genannt. Diese „Teilchen“ sind für das menschliche Auge nicht zu erkennen und trotzdem unabdingbar für das Verständnis chemischer Prozesse. Verschiedene Modelle, wie das Kugelwolkenmodell, das Bohr'sche Atommodell oder das Schalenmodell initiieren die Analogiebildung dynamischer Prozesse auf submikroskopischer Ebene. Sie dienen dem besseren Verständnis und sollen Sachverhalte veranschaulichen. Die symbolische Ebene befasst sich mit der Verwendung feststehender Fachtermini und repräsentativen Symbolen zur einfachen Darstellung chemischer Zusammenhänge in Form von Formeln, (Reaktions)-Gleichungen, Verhältnissen sowie mathematischen Kalkulationen (Johnstone, 1999). Folglich werden die drei Ebenen in Johnstones Modell als die Ecken eines Dreiecks visualisiert. Alle Ebenen sind dabei gleichwertig, d.h. sie ergänzen sich zwar gegenseitig, müssen jedoch klar voneinander getrennt werden. Für den geschulten Chemiker*innen ist die Trennung dieser Ebenen trivial, jedoch nicht unbedingt für die Lernenden. Im Fall des Chemieunterrichts repräsentieren die beobachtbaren Prozesse eines Schüler*innen- bzw. Lehrer*innenexperimentes die Makroebene, auf Grundlage derer die Schüler*innen die Durchführung von Experimenten formulieren, Beobachtungen und Phänomene beschreiben und anschließend Hypothesen aufstellen. Zur Erklärung des Beobachteten muss ein Wechsel auf die submikroskopische Ebene erfolgen, mit Hilfe dessen

die ablaufenden Prozesse verbalisiert werden und über die Verwendung von Reaktionsgleichungen auf symbolischer Ebene visualisiert werden.

Diese gleichzeitige Einführung und unscharfe Trennung des Übergangs der drei unterschiedlichen Ebenen ist die Ursache für viele Missverständnisse, auf die Lernende im naturwissenschaftlichen Unterricht stoßen. Häufig werden die drei Ebenen nicht deutlich genug voneinander abgegrenzt, sodass die Lernenden Schwierigkeiten haben, den Fachinhalt fachlich korrekt wiederzugeben. Mahaffy (2004) adaptierte das Modell von Johnstone, indem er das Dreieck, durch Hinzufügen einer vierten Ebene - dem Human Element - zu einem Tetraeder transformierte. Das Human Element (dt. das menschliche Element) „represents the web of human contexts for learning chemistry“ (Mahaffy, 2004). Dabei werden zwei Aspekte besonders betont: Zum einen werden die chemischen Prozesse mit sozialen, wirtschaftlichen, ökonomischen und politischen Aspekten der Gesellschaft in Zusammenhang gebracht. Zum anderen ist der Lernende als Mensch ein wichtiger Bestandteil des Tetraeders.

Neben der rein statischen Visualisierung von Teilchen und deren Prozesse spielen dynamische Prozesse eine zentrale Rolle in der Chemie. Diese Dynamik wird oft auf Grund mangelnder technischer Möglichkeiten nicht bis kaum thematisiert. Digitale Medien können auch hier ihren Beitrag dazu leisten, diese Dynamik im Unterricht zu thematisieren und auch visuell anschaulich zu gestalten. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Darstellungsmöglichkeiten und deren Dynamisierung wird ebenfalls in den in Kapitel 3 präsentierten Lehr-Lernszenarien näher beschrieben.

1.2. Fachmediendidaktische Perspektive

1.2.1. Kompetenzen in der digitalen Welt

Die Kultusministerkonferenz (KMK) legte 2016 erstmals Kompetenzen für den mittleren Bildungsabschluss fest, deren Erreichung Schüler*innen zur mündigen Nutzung digitaler Medien ausstatten soll, mit dem Ziel, sie auf ein Berufsleben im Zeitalter der Digitalisierung und Digitalität vorzubereiten. In Anbetracht des Beschlusses der KMK zur Festlegung von Kompetenzen der digitalen Welt, welche die Schüler*innen im Rahmen des Unterrichts erwerben sollen, müssen Lehrpersonen ebenfalls digitale Kompetenzen besitzen sowie zu deren Vermittlung fähig sein. Hierbei soll ein „Primat des Pädagogischen“ (KMK, 2016) erfolgen, sodass die Vermittlung der Kompetenzen der digitalen Welt keinen Selbstzweck darstellen, sondern die Erfüllung des Bildungsauftrags erleichtern und begleiten sollen.

Kompetenzen der Lernenden

Die sukzessive Entwicklung von digitalen Kompetenzen ab der Primarstufe erfolgte seit dem Schuljahr 2018/19 und ist für die einzelnen Bundesländer verpflichtend, wobei eine Unterteilung in sechs Kompetenzbereiche erfolgt (KMK, 2016). Unter dem Kompetenzbereich „Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren“ werden Suchstrategien, die Bewertung von Quellen und Informationen sowie Organisation und Speichern von gesammelten Informationen zusammengefasst. Unter „Kommunizieren und Kooperieren“ steht die reflektierte Nutzung digitaler Kommunikationsmöglichkeiten zum Teilen und gemeinsamen Bearbeiten von Informationen unter Berücksichtigung kontextueller, ethischer und kultureller Aspekte im Vordergrund. Das Bearbeiten, Präsentieren und Veröffentlichen von Inhalten unter Beachtung von Urheberrechten wird in den Bereich „Produzieren und Präsentieren“ eingeschlossen (ebd.). Standards zum verantwortungsvollen Umgang der Schüler*innen mit digitalen Medien unter dem Aspekt der Suchtprävention und des Datenschutzes zu fördern, werden dem vierten Kompetenzbereich „Schützen und sicher agieren“ zugeordnet. Die Anwendung von digitalen Medien als Werkzeuge, zum Problemlösen und das Lösen damit verbundener technischer Probleme wird unter „Problemlösen und Handeln“ zusammengefasst (ebd.). Schüler*innen sollen zusätzlich durch das Erreichen der Teilkompetenz „Analysieren und Reflektieren“ in der Lage sein, (Online-)Quellen kritisch zu bewerten und die Manipulationsfähigkeit durch Medien zu erkennen. Die Förderung der einzelnen Kompetenzbereiche liegt hierbei in der Verantwortung der Fachlehrer*innen, welche die Vermittlung der Kompetenzen der digitalen Welt in den Fachunterricht integrieren sollen, da kein eigens auf die Vermittlung von digitalen

Kompetenzen ausgerichtetes Fach „Medienbildung“ vorgesehen ist (ebd.). Dies bietet gleichermaßen die Chance, dass jedes Fach seinen spezifischen Beitrag zum Erwerb digitaler Kompetenzen beitragen kann und diese Kompetenzen somit fächerübergreifend und mehrperspektivisch erworben werden können. Durch die allgemein formulierten Kompetenzen der KMK, kann es zudem für Lehrkräfte schwierig sein, auf ihren Fachunterricht ausgerichtete Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien und somit Lernchancen der Schüler*innen zu identifizieren und zu nutzen. Allerdings bieten digitale Medien Chancen zur individuellen Förderung der Lernenden und ermöglichen neue Unterrichtskonzepte, welche schülerzentriert und konstruktivistisch gestaltet werden können (KMK, 2016). Zudem verändert sich die Rolle der Lehrperson dahingehend, dass diese das Lernen der Schüler*innen als kompetente Nutzer*innen und Produzent*innen digitaler Medien begleitet und bei Problemen bezüglich der Bedienung der Endgeräte und digitalen Medien als „Tech-support“ dient sowie eine kritisch reflektierte Nutzung digitaler Endgeräte initiiert. Die Gesellschaft für Fachdidaktik bemerkt in einem Positionspapier (2018), dass der Einsatz digitaler Medien in dem jeweiligen Fachunterricht geprüft werden muss und eine konkrete Förderung erst möglich wird, wenn diese anhand von Fachinhalten und gemeinsam mit fachlichen Kompetenzen angewendet werden (GFD, 2018). Allerdings decken die sechs Bereiche zu den Kompetenzen der digitalen Welt nicht alle Kompetenzen, die zum erfolgreichen, reflektierten Umgang mit digitalen Medien von Nöten sind, hinreichend ab. Zudem liegt der Fokus nicht auf dem produktiven Umgang mit digitalen Medien, sondern eher auf der kritischen und verantwortungsvollen Auseinandersetzung und Prävention von Suchtverhalten (Eickelmann, 2016). Besonders für die einzelnen Fächer ergeben sich spezielle Kompetenzen, welche durch die allgemein formulierten sechs Hauptaspekte nicht erfasst werden, wie beispielsweise die Erhebung und Analyse von Messdaten oder im Fach Informatik das Programmieren von Code im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts (ebd.).

1.2.2. Didaktische Funktionen digitaler Medien im Chemieunterricht

Der Einsatz digitaler Medien kann auf Basis der Gestaltung des Lehr-Lernprozesses im Sinne des DPaCK-Modells hinsichtlich vier didaktischer Funktionen für den Chemieunterricht unterschieden werden: Lernwerkzeug, Lernbegleiter, Lerngegenstand und Experimentalwerkzeug (Huwer & Eilks, 2021). Diese Kategorisierung aus fach(medien)didaktischer Sicht soll dabei helfen, digitale Lehr-Lernformate in ein didaktisch-methodisches Konzept einzubetten. Eine solche Implementierung kann von einem rein analogen Szenario ausgehen, allerdings auch neue Formate zulassen, die ohne digitale Medien nicht möglich wären (Puentendura, 2007). Einerseits kann ein Einsatz als Experimentalwerkzeug das Experimentieren anreichern, wie zum Beispiel durch die Verwendung einer pH-Sonde mit digitaler Messwerterfassung. Diese Integration führt zu einem mobileren Einsatz digitaler Lernformate auch über den Chemiesaal hinweg. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf diese Kategorie nicht näher eingegangen, sondern sie wird vielmehr als ein Baustein innerhalb eines Lernbegleiters behandelt.

Weiterhin können digitale Medien als Lernwerkzeug genutzt werden, welches sich auf die kognitiven Prozesse der Lernenden bezieht und auf konkrete Situationen zugeschnitten ist (Huwer & Brünken, 2018). Auch hier sind mehrere Realisierungsformen möglich. Von Schüler*innen erstellte Erklärvideos, sog. EXPlainistry, können das Lernen in einer aktiven Unterrichtssituation anreichern, sodass diese durch das digitale Medium aktiv in das Unterrichtsgeschehen eingebunden werden. Diese Aktivierung soll im Speziellen dazu führen, dass digitale und fachbezogene Kompetenzen gefördert werden. Durch die Erklärerrolle der Schüler*innen verändert sich das Lernen auch ohne das digitale Medium, da die konstruktivistische Methode des Lernens durch Erklären das selbstregulierte Erarbeiten des Lerngegenstandes durch die Schüler*innen initiiert. Augmented Reality ist ein weiteres Beispiel für ein digitales Lernwerkzeug, durch das in Abhängigkeit seiner Funktionen ebenfalls individuelle, kognitive, aber auch motivationale Lernprozesse gefördert werden. Wie entsprechende Förderung aussehen kann, wird zum Thema Erklärvideo in Kapitel 3.1 und zum Thema Augmented Reality in Kapitel 3.2 erläutert.

Der Einsatz von digitalen Medien im Chemieunterricht kann ebenfalls als Lernbegleiter dienen, welcher nicht nur das Experimentieren der Schüler*innen unterstützt, sondern das Lernen über einen Zeitraum hinweg begleitet. Hierbei steht der Einsatz von digitalen Medien, wie beispielsweise der Einsatz interaktiver eBooks, sog. Multitouch Learning Books oder auch

Multitouch Experiment Instructions, über einen längeren Zeitraum, über die entsprechenden Fächergrenzen sowie Klassenzimmer hinweg im Fokus. Der digitale Lernbegleiter soll das Lernen über mindestens eine Unterrichtseinheit anreichern und idealerweise lernortvernetzend eingesetzt werden. In Kapitel 3.3 wird außerdem das schulische und außerschulische Potential solcher Lernbegleiter in Bezug auf die Selbstregulation beschrieben.

1.3. Lernpsychologische Perspektive

1.3.1. Multimedia Theory und Gestaltungsprinzipien digitaler Medien

Durch die Interaktion mit einem Lerngegenstand muss die kognitive Begegnung mit diesem mit dem vorhandenen Wissen kombiniert und im Zusammenspiel mit dem neu zu erwerbendem Wissen weiterverarbeitet werden. Die dadurch verursachten Reize der Lernaufgabe finden im Arbeitsgedächtnis statt, von wo aus sie wieder ins Langzeitgedächtnis gelangen müssen. Sweller (2010) beschreibt in seiner Cognitive Load Theory, dass beim Lernprozess alle relevanten Informationen, wie z.B. die Aktivierung des zum Lerngegenstand relevanten Vorwissens, aus dem Langzeit- in das Arbeitsgedächtnis übertragen werden müssen. Dieser sehr komplexe Vorgang kann nur durch eine ausgeglichene Konfrontation mit dem Lerngegenstand stattfinden. Hierfür darf nach Sweller die Summe aus drei kognitiven Belastungen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht übersteigen (Sweller, 2010: 44) (siehe auch Abbildung 2):

Intrinsische kognitive Belastung (engl. Intrinsic cognitive load):

Der Lerngegenstand stellt als solches eine kognitive Belastung für das Arbeitsgedächtnis dar. Wie groß diese Belastung in der Summe ist, hängt entsprechend von der Komplexität und dem Umfang des Inhalts ab. Hierbei ist die intrinsische kognitive Belastung abhängig von der Anzahl der Elemente, welche im Rahmen einer Synthese zur Problemlösung simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen, sowie von dem Vorwissen der Lernenden (Moreno & Park, 2010).

Extrinsische kognitive Belastung (engl. Extraneous cognitive load):

Durch die Gestaltung des Lerngegenstands, das heißt durch die Art der Präsentation der Informationen, wird je nach Qualität der Gestaltung eine zusätzliche Belastung des Arbeitsgedächtnisses provoziert (Sweller, 2010). Ziel einer jeden Materialkonzeption sollte es daher sein, diese Art kognitive Belastung durch entsprechende Gestaltungskriterien so gering wie möglich zu halten.

Lernbezogene kognitive Belastung (engl. Germane cognitive load):

Der Prozess des Erlernens des Lerngegenstands, das heißt die Bereitschaft sich mit dem Inhalt aktiv und konstruktivistisch auseinanderzusetzen, erzeugt ebenfalls eine kognitive Belastung (Sweller, 2010). Da es sich hierbei um den Lernprozess selbst handelt, ist es notwendig, dafür so viel kognitive Ressourcen wie möglichen bereit stellen zu können. Denn die lernbezogene

Belastung gilt u.a. als Voraussetzung, dass ein Lernen stattfinden kann, da es nur durch sie zu einem Wissenszuwachs in Form des Erwerbs und der Automatisierung von Schemata kommen kann (Sweller, 2010). Der Schemaerwerb bezeichnet die Organisation der Informationen des Lerngegenstands in größere Informationseinheiten, welche anschließend in das Langzeitgedächtnis übertragen werden (Kalyuga, 2010) und bei zukünftiger Konfrontation mit dem Lerninhalt in einem anderen Kontext aktiviert werden können.

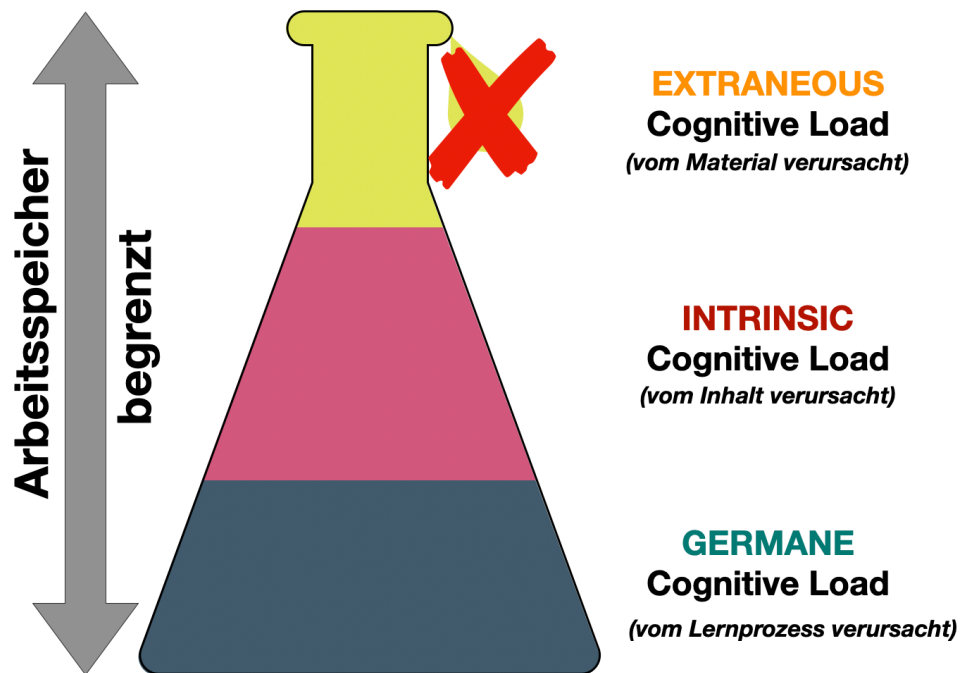


Abbildung 2 Unterteilung des Arbeitsgedächtnisses nach Sweller (2010) in intrinsic, extraneous und germane cognitive load

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist nicht bei allen Lernenden gleich und da die Belastungen additiv wirken, sollte die extrinsische kognitive Belastung durch die Aufgabe so gering wie möglich gehalten werden. Dies gewährleistet, dass allen Lernenden genügend freie Kapazitäten zur tatsächlichen Lösung der Aufgabe zur Verfügung stehen und einem sog. cognitive overload (vgl. Abb. 2) entgegengewirkt wird (Sweller, 2010). Durch Optimierung des verwendeten Materials können Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses frei werden, die für den eigentlichen Lernprozess (germane load) investiert werden können. (Moreno & Park, 2010). Allerdings ist die Verringerung der externen kognitiven Belastung nur dann sinnvoll, wenn die freien Kapazitäten tatsächlich für lernbezogene Aspekte genutzt werden und die Summe der kognitiven Belastungen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht übersteigt.

Gerade bei der Gestaltung der zu präsentierenden Informationen spielen digitale Medien in Bezug auf ihre Multimedialität eine wichtige Rolle, da sie bei richtigem Einsatz und entsprechender Gestaltung den Extraneous Load reduzieren und somit positive Effekte auf den Lernprozess herbeiführen (Mayer & Moreno, 2009). Während die Cognitive Load Theory sich auf die Belastung des Arbeitsgedächtnisses der Lernenden bezieht, ermöglicht die kognitive Theorie des multimedialen Lernens einen Überblick über den gesamten Lernprozess und den Abläufen im sensorischen, Arbeits- und Langzeitgedächtnis. Hier wird als Grundannahme davon ausgegangen, dass Informationen auf zwei verschiedenen Kanälen verarbeitet werden (engl. dual-channel assumption) (Mayer, 2009). Die Unterteilung in zwei Kanäle kann entweder auf der Form der Informationsaufnahme oder der Art der Informationsdarbietung beruhen. Betrachtet man die Informationsaufnahme, so können Informationen zunächst auditiv, mit den Ohren oder visuell, mit den Augen, von den Lernenden wahrgenommen werden. Die Lernenden können zudem die sensorisch wahrgenommenen und bereits selektierten Informationen im Arbeitsgedächtnis in den jeweils anderen Kanal übertragen. Bei Betrachtung der Informationsdarbietung können Informationen im Multimediamaterial entweder durch Worte oder Bilder dargestellt werden, wobei sich Worte sowohl auf geschriebenen als auch gesprochenen Text beziehen. Demnach kann eine Darbietung von Worten zu einer Verarbeitung im auditiven oder visuellen Kanal führen, je nachdem, wie diese im Multimediamaterial dargeboten wird. Bei einem geschriebenen Text müssen freie Kapazitäten in beiden Kanälen vorhanden sein, da zunächst eine Verarbeitung im visuellen und anschließend im auditiven Kanal erfolgt (Kompendium Multimedia).

Die wahrgenommenen Reize werden zu Lauten und Bildern selektiert, welche im Arbeitsgedächtnis zur Sinnstiftung genutzt werden und die Basis zur Erstellung verbaler oder bildlicher Modelle liefern. Nach der Organisation der Informationen in verbale und bildliche Modelle erfolgt der wichtige Schritt der Kombination der beiden Repräsentationen und Integration in das aus dem Langzeitgedächtnis aufgerufenen Vorwissen der Lernenden (Mayer, 2010). Werden beispielsweise Bilder durch die Augen wahrgenommen, wird im Arbeitsgedächtnis durch Selektion ein Teil der wahrgenommenen Informationen der Lernenden repräsentiert und anschließend in einem mentalen Modell organisiert. Das mentale Modell wird durch aktive kognitive Prozesse in das Vorwissen der Lernenden integriert und bei Existenz von verbalen Modellen mit diesen verknüpft, sodass ein integriertes Lernmodell erzeugt wird (Mayer, 2010). Eine weitere Grundannahme wird in der Begrenztheit der Kanäle zur Informationsaufnahme postuliert (Mayer, 2010), sodass eine Überlastung eines jeden Kanals

vermieden werden sollte. Es wird zudem davon ausgegangen, dass sich Lernende, innerhalb multimedialer Lernumgebungen aktiv und individuell mit der Informationsverarbeitung auseinandersetzen, anstatt diese passiv wahrzunehmen und abzuspeichern (Mayer, 2010).

Das ARCS-Modell

Allerdings betrachtet die kognitive Theorie des Multimedialernens nur die kognitiven Abläufe, nicht aber metakognitive oder motivationale Aspekte. Da die Motivation zur Auseinandersetzung mit einer komplexen multimedialen Lernumgebung eine wichtige Rolle spielt, betrachtet das ARCS-Modell (Aufmerksamkeit (attention), Relevanz (relevance), Erfolgszuversicht (confidence), Zufriedenheit (satisfaction)) (Keller, 1987) vier Hauptkategorien motivationaler Einflüsse. Einerseits soll das multimediale Material die Aufmerksamkeit der Lernenden gewinnen (ebd.), indem dieses durch spannende Inhalte oder reale Probleme mit hoher Relevanz und ein ansprechendes, abwechslungsreiches und interaktives Design für die Lernenden interessant gestaltet wird. Auch die Relevanz des Materials kann zu einer höheren Motivation führen (ebd.). Diese kann beispielsweise erhöht werden, indem Lernende zum Setzen persönlicher Ziele ermutigt werden, Inhalte mit alltagsnahen Beispielen verdeutlicht werden sowie differenzierte Aufgaben angeboten werden, um Lernende aller Leistungsgruppen anzusprechen. Ein weiterer Faktor ist die Erfolgszuversichtlichkeit der Lernenden, die durch die Übernahme von Verantwortung für das eigene Lernen und Transparenz bezüglich der Anforderungen und Lernzielen des Materials gesteigert werden (ebd.). Des Weiteren zielen Möglichkeiten zum Feedback, Förderung von Reflexion und Übungen zur Anwendung des Gelernten auf eine größere Zufriedenheit der Lernenden ab, was sich in einer Zunahme der Motivation manifestiert (ebd.). Während das ARCS-Modell bereits Schlussfolgerungen für die motivierende Gestaltung von multimedialen Lernsettings beinhaltet, lassen sich auch aus den weiteren Theorien und Modellen Gestaltungsprinzipien zum Einsatz multimedialen Materials ableiten und die auch für ein multimediales Selbstregulationstraining relevant sind.

Gestaltungsmerkmale multimedialer Informationspräsentation

Mayer (2001) beschreibt zur Vermeidung einer kognitiven Überlastung durch den Extraneous Load fünf Designprinzipien multimedialer Informationspräsentation:

- Unter dem **Modalitätsprinzip** (Mayer, 2001) werden Aspekte zur ausgeglichenen Nutzung der beiden Verarbeitungskanäle subsummiert, sodass es bei Erklärungen über Bilder, Animationen oder Videos keine Überlastung des visuellen Kanals provoziert wird,

sondern Texte oder Erläuterungen über den auditiven Kanal präsentiert werden. Daher muss entschieden werden, ob Texte auditiv oder visuell dargeboten werden. Besonders bei kurzen Textabschnitten können gesprochene Texte zu einer Entlastung des visuellen Kanals führen (Scheiter & Richter, 2015), während Lernende die Informationsaufnahme und -verarbeitung bei längeren oder komplexeren Texten Inhalte durch erneutes Lesen und Lesen in ihrem eigenen Tempo individualisieren können.

- Würde die Entscheidung dahingehend auf eine Kombination aus gesprochenem und geschriebenem Text fallen, so muss zusätzlich das **Redundanzprinzip** beachtet werden, wonach eine simultane Darbietung von Informationen in geschriebener und gesprochener Form nicht zu einer Lernsteigerung führt, sondern einen negativen Einfluss auf das Lernen besitzt (Meyer, 2001).
- Auch das Einbinden von zusätzlich, gegebenenfalls interessanten Inhalten, sind dem Verständnis der Kernaussagen nicht förderlich und somit nach dem **Kohärenzprinzip** nicht mit einem besseren Lernen der Schüler*innen verbunden. Demnach fördert ein Auslassen nicht notwendiger Inhalte das Lernen, aufgrund höherer kognitiver Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis der Lernenden (ebd.). Mit einer reflektierten Gestaltung von Videos oder multimedial dynamisierten Abläufen geht damit das Auslassen zusätzlicher Reize neben dem relevanten Inhalt einher, um Ablenkungen zu reduzieren. Beispielweise sollte Hintergrundmusik nur eingesetzt werden, wenn dadurch Informationen vermittelt werden oder diese zu einer lernförderlichen Atmosphäre oder Emotionen der Lernenden beiträgt.
- Generell wirkt sich der Einsatz multimedialer Inhalte, also die Kombination aus Bild- und Textinhalten im Sinne des **Multimedia-Prinzips**, positiv auf den Lernprozess aus und ist besonders förderlich für Lernende mit einem geringen Vorwissen (ebd.).
- Bei der gleichzeitigen Darbietung von multimedialen Inhalten muss darauf geachtet werden, Inhalte räumlich und zeitlich nah beieinander darzubieten, um dem **Kontiguitätsprinzip** Folge zu leisten und somit die Informationen durch die Verarbeitung im visuellen und auditiven Kanal gleichzeitig zur Organisation im Arbeitsgedächtnis zur Verfügung stehen, um sie in mentale Modelle zu integrieren.

Wie Sweller (2010) beschreibt, kann es bei der Darbietung von Informationen sowohl in Bildform als auch Textform dazu kommen, dass Lernende Ressourcen dafür aufbringen müssen, diese Inhalte aufeinander zu beziehen, um die gelieferten Informationen zusammenzuführen, was als Effekt der geteilten Aufmerksamkeit (engl. split attention effect) bezeichnet wird (ebd.). Um den Einsatz dieser zusätzlichen Ressourcen zu vermeiden, sollten Bilder und Text, die sich auf denselben Inhalt beziehen, räumlich möglichst nah angeordnet sein (Girwidz & Hoyer, 2018). Bei der Gestaltung von Multimediaumgebungen kann der Lernprozess der Schüler*innen neben der Berücksichtigung der kognitiven Kapazitäten auch durch eine Förderung des Schemaerwerbs positiv beeinflusst werden. Zur Förderung des Schemaerwerbs ist die Bereitstellung von worked-out examples zur direkten Instruktion der Lernenden eine geeignete Methode (Renkl, 2000). Durch worked-out examples können Lernende in den anfänglichen Phasen der Konfrontation mit einem Problem unterstützt werden, da sie ihre kognitiven Ressourcen zunächst ausschließlich für das Verständnis des präsentierten Lösungswegs einsetzen können (Renkl, 2000). Allerdings ist dies nur effektiv, wenn Lernende die worked-out examples mehrfach betrachten und durch Selbstinstruktion in der Lage sind, ausreichend mit dem Material zu interagieren, um allgemeinen Prinzipien für neue Problemstellungen abzuleiten (Renkl, 2000).

Allgemein sollte darauf geachtet werden, dass eine klare Strukturierung der bereitgestellten Informationen zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und zur Erleichterung der Schemakonstruktion erfolgt (Sweller, 2010). Dies kann beispielsweise durch Zusammenfassungen, welche in das Material als Vorschau oder Ausblick eingebunden werden, durch eindeutige Überschriften, welche eine Verfolgung der Themen zulassen oder eine Hervorhebung relevanter Inhalte durch Abhebung vom allgemein genutzten Design erzielt werden. Bei der Gestaltung von Text sollte sich das verwendete Vokabular an den Lernenden orientieren und unübersichtliche, komplizierte Satzstrukturen vermieden werden. Zusammenfassungen und Beispiele können die Integration des Wissens in das vorhandene Vorwissen erleichtern. Eine bewusste und mäßige Hervorhebung bestimmter Textinhalte kann das Erfassen der enthaltenen Informationen verbessern (Mayer et al., 2005). Dies ist besonders relevant, da durch die Multimediaumgebung zahlreiche Informationen angeboten werden, welche von Lernenden in relevante und nebensächliche Informationen kategorisiert werden müssen und anschließend hinreichend verarbeitet werden müssen (Girwidz & Hoyer, 2018). Die Funktion von Bildern sollte in Multimediaumgebungen einen rein dekorativen Zweck übersteigen. Hierbei können Bilder, neben ihrer motivationalen Funktion, auch als

Kompensationsmöglichkeit für Lernende mit einer geringeren Lesekompetenz bei Kombination mit einem geschriebenen Text dienen.

Bilder können kognitive Funktionen erfüllen, indem sie zur Fokussierung der Aufmerksamkeit der Lernenden und zur Erleichterung der Organisation von Informationen beitragen, wodurch Informationen vermittelt werden, die durch einen Text nur schwer zu beschreiben sind. Bei komplexen Aufgaben und Darstellungen sind schematische gegenüber realistischen Bildern zu bevorzugen, da hierbei im Sinne des Seductive Details die Aufmerksamkeit von unwichtigen Informationen abgelenkt wird (Scheiter & Richter, 2015) und bei der Kombination mit erläuterndem Text, welcher nicht in das Bild integriert werden kann, sollte eine Zuordnung durch Linien oder Pfeile erfolgen. Erfolgt die Darstellung von Bild und erklärendem Text nicht gleichzeitig, so sollten Lernende erst das Bild und anschließend den Text betrachten (ebd.).

Durch Animationen und Videos kann zwar einerseits eine hohe Belastung des Arbeitsgedächtnisses der Lernenden erfolgen, andererseits können diese Medien durch dynamische Präsentationen zur effektiven Vermittlung von prozeduralem Wissen genutzt werden (ebd.), was über statische Methoden wie Text oder Bilder nur schwer möglich ist. Daher ist der Einsatz von Videos besonders beim Experimentieren als Hilfestellung angebracht, da die Lernenden beim Beobachten der Durchführung des Experiments die ablaufenden Prozesse analysieren können, um im Rahmen des Modellerns beobachtete Verhaltensmuster nachzuahmen. Ein beachtlicher Vorteil von Animationen ist die Möglichkeit verschiedene Darstellungsebenen der Abstraktion wie Mikro- oder Makroebene zu betrachten (ebd.). So können beim Experimentieren nicht sichtbare Prozesse auf der Teilchenebene durch Animationen visualisiert und zur Erklärung der Makroebene genutzt werden. Zudem können Experimente durch Zeitrafferfunktionen beschleunigt oder durch Zeitlupen verlangsamt dargestellt werden, um eine Beobachtung sonst nicht erfassbarer Prozesse zu ermöglichen.

Moss & Azevedo (2007) untersuchen den Einfluss des fachlichen Vorwissens auf die Selbstregulation von Lernenden, welche mit einer Hypermediaumgebung interagierten und fanden, dass diese keinen Zuwachs der Selbstregulation, sondern nur des Wissens erzielten, da sich die Lernenden mit geringem Vorwissen ausschließlich auf Strategien zur Regulation des Umgangs mit der Lernumgebung fokussierten (Moss & Azevedo, 2007: 289). Lernende mit einem hohen Vorwissen erzielten dahingegen eine Steigerung ihrer Selbstregulation und

setzten Strategien zur Regulation des Selbst ein. Ihre Ergebnisse erklärten Moss und Azevedo damit, dass bei Lernenden mit geringem Vorwissen die Regulation des Umgangs mit der Lernumgebung, welche für den Erwerb von Wissen notwendig ist, als Priorität gesetzt wird, da beide Prozesse das Arbeitsgedächtnis belasten (ebd.: 290). Demnach kann bei Lernenden mit geringem Vorwissen der Fokus entweder auf dem Wissenserwerb liegen oder bei der Selbstregulation ihres Lernens, da bereits die Fokussierung auf einen der beiden Aspekte in einer Hypermedia-Lernumgebung die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses auslastet.

1.3.2.Selbstreguliertes Lernen

Dem gegenwärtigen Verständnis liegt zugrunde, dass Selbstregulation sich nicht ausschließlich auf die Regulation von Wissen und kognitiven Prozesse beschränkt. So definiert Zimmerman (2000) den Begriff der Selbstregulation folgendermaßen: „*Self-regulation refers to self-generated thoughts, feelings, and actions that are planned and cyclically adapted to the attainment of personal goals*“. Alternativ kann man auch sagen, dass die Selbstregulation ein Konstrukt beschreibt, welches die von Individuen erzeugte Gefühle, Handlungen und Gedanken vereint. Für das Lernen in (außer-)schulischen Kontexten spielt das selbstregulierte Lernen ebenfalls eine übergeordnete Rolle, da es sich hierbei um zyklisch wiederkehrende und geplante Prozesse handelt, bei denen das Erreichen persönlich gesetzter Ziele im Vordergrund steht. Um diese Ziele in einer speziellen Lernsituation anwenden zu können, sind entsprechende kognitive, metakognitive und motivationale Aspekte zu berücksichtigen (PISA, 2000).

Kognitiv	motivational	metakognitiv
Strategisches Wissen & dessen Anwendung (Lernstrategien!)	Handlungen, die Lernen initiieren bzw. aufrechterhalten (z.B. Belohnungspausen), Selbstwirksamkeitsüberzeugung, Attributionsmuster etc.	Planung & Reflexion, ggf. Anpassung der Handlungen, Selbstbeobachtung

Abbildung 3 Regulationsebenen der Selbstregulation: Kognition, Motivation und Metakognition

Das Konzept der Selbstregulation ist im schulischen Kontext besonders relevant, da es sich positiv auf das Lernen der Schüler*innen auswirkt (Hattie, Beywl & Zierer, 2013). Auch Aspekte wie die Motivation der Lernenden ($d = .43$) und das Selbstkonzept ($d = .48$) besitzen eine hohe

Effektstärke und sind dem Konstrukt der Selbstregulation zuzuordnen (ebd.). Somit nimmt die Selbstregulation einen beträchtlichen Einfluss auf das Lernen der Schüler*innen, ein Effekt, welcher sich allerdings nicht auf eine gewisse Altersgruppe beschränkt und mehr als eine positive Beeinflussung der akademischen Leistung umfasst. Wie Dignath, Büttner und Langfeldt (2008) im Rahmen einer Metaanalyse herausfanden, besitzt die Ausprägung der Selbstregulation bereits in der Primarstufe einen signifikanten Einfluss auf die akademische Leistung sowie darüber hinaus auf motivationale und metakognitive Aspekte. Zudem wurde gezeigt, dass bereits in der Primarstufe eine Förderung der Selbstregulation effektiv ist (Benick, et al. 2018). Die positive Wirkung der Selbstregulation auf das Lernen der Schüler*innen ist hierbei nicht auf eine Domäne beschränkt (Perels, et al., 2020). Beispielsweise erzielten Souvignier, Streblow, Holodynski und Schieferle (2007) sowie Souvignier und Mohhlesgerami (2006) eine Steigerung der Lesekompetenz von Schüler*innen durch eine Intervention zur Förderung der Selbstregulation, während Perels, Dignath und Schmitz (2009) einen positiven Effekt der Vermittlung von Selbstregulationsstrategien auf die mathematische Leistung der Schüler*innen fanden (siehe auch Benick, et al., 2019).

Die Relevanz der Selbstregulation wird ebenfalls durch deren Aufnahme in den Kanon der Bildungsindikatoren der OECD, der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, hervorgehoben. Dort wird die Selbstregulation zu den „cross-curricular competencies“, den fächerübergreifenden Kompetenzen, gezählt, welche neben der Lesekompetenz, der mathematischen Grundbildung und der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu den Indikatoren zählen, die eine Aussage über die „Funktions- und Leistungsfähigkeit [der] Bildungssysteme“ der einzelnen Länder zulässt (PISA, 2000). Dementsprechend besitzt die Selbstregulation der Lernenden auch einen Einfluss auf deren berufliche Zukunft. Schüler*innen müssen auf einen Arbeitsmarkt vorbereitet werden, welcher durch Entwicklungen wie Automatisierung, künstliche Intelligenz und zukünftige, nicht absehbare Veränderungen im ständigen Wandel ist, sodass Schüler*innen nicht durch reines Schulwissen auf ihre berufliche Zukunft vorbereitet werden. Vielmehr sollten Schüler*innen durch in der Schule erworbene Kompetenzen zur selbstständigen Aneignung von Wissen und Kompetenzen befähigt werden, den an die Arbeitnehmer gestellten Herausforderungen gerecht zu werden. Hierbei handelt es sich bei der Selbstregulation um eine „Schlüsselkompetenz in Bezug auf lebenslanges Lernen“ (Perels & Dörrenbächer, 2018). Wie Zimmerman (2000) bemerkt, ist Selbstregulation dahingehend besonders relevant, dass Individuen heute mit einer schier endlosen Anzahl an Möglichkeiten konfrontiert werden und

viele Freiheiten bezüglich ihrer Entwicklung besitzen. Daraus folgt auch, dass Selbstregulation notwendig ist, um den eigenen Werten und der Persönlichkeit entsprechende Ziele zu verfolgen, um die Erreichung dieser Ziele zu regulieren oder eventuell einen neuen Kurs einzuschlagen. All diese Aspekte befähigen die Lernenden dazu, als mündige Bürger einen relevanten Beitrag zur Gesellschaft durch ihre persönliche Entwicklung zu leisten. Die Relevanz der Selbstregulation als fächerübergreifende Kompetenz innerhalb des lebenslangen Lernens, macht sie zu einem beliebten Untersuchungsgegenstand der empirischen Forschung. Dank der Wichtigkeit für mehrere Disziplinen wie der Pädagogischen Psychologie, Entwicklungspsychologie und den Bildungswissenschaften ist die Forschung zur Selbstregulation vielfältig und erfolgt aus zahlreichen Blickwinkeln. Die Selbstregulation kann einerseits durch prozessbezogene Modelle beschrieben werden. Hierbei wird besonders der Prozesscharakter und der damit verbundene cyclische Verlauf fokussiert. Andererseits kann die Selbstregulation mit Hilfe von Komponentenmodelle beschrieben werden. In diesem Fall werden die Ebenen adressiert, auf die sich die entsprechenden Prozesse beziehen (Perels et al., 2020).

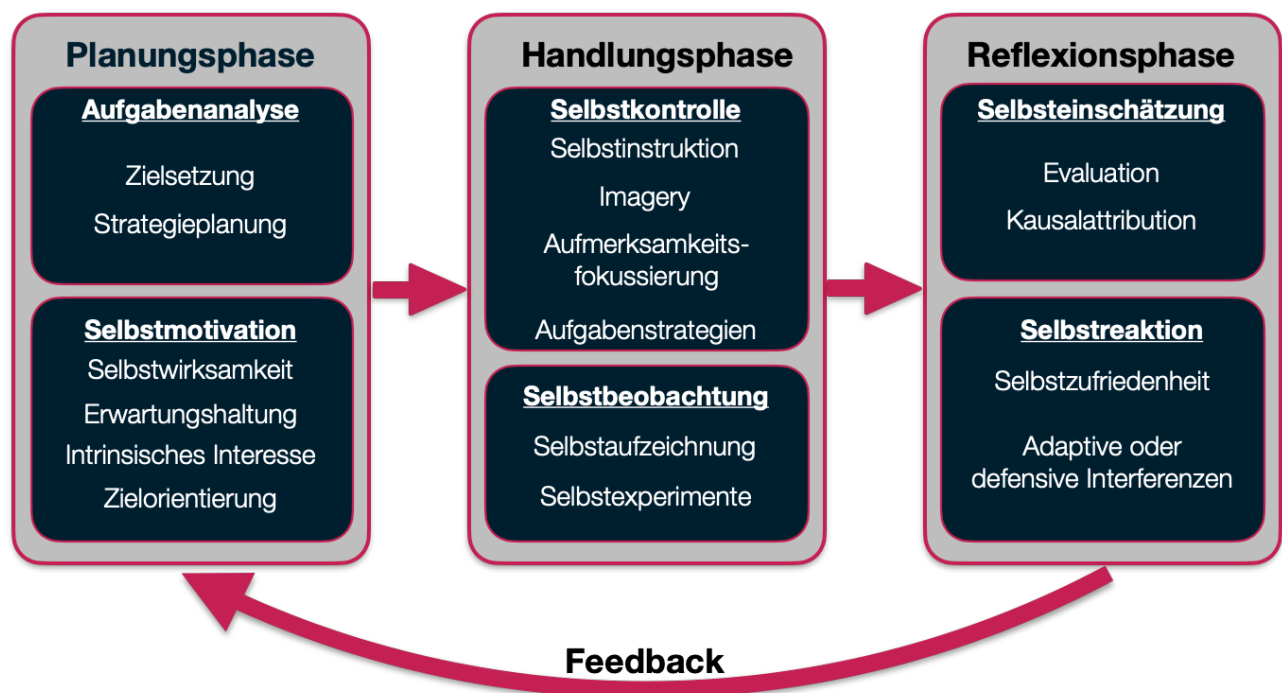


Abbildung 4 Kreislauf des Selbstregulationsprozesses: Planungs- Handlungs- und Reflexionsphase adaptiert nach Zimmermann (2000)

Zu den relevantesten prozessbezogenen Modellen zur Selbstregulation zählt das von Zimmerman (2000) vorgestellte sozial-kognitive Modell, welches besonders den zyklischen Charakter der Selbstregulation hervorhebt und die Basis der Entwicklung des Selbstregulationstrainings bildet. Zimmerman strukturiert Selbstregulationsprozesse in drei

Phasen innerhalb eines Kreislaufs: Planungsphase (engl. forethought), Handlungsphase (engl. performance/volitional control) und Reflexionsphase (engl. self-reflection). Vor der Handlungsaufnahme wird als erster Schritt die Planungsphase durchlaufen, die die Aspekte Aufgabenanalyse und Selbstmotivation einschließt (vgl. Abb. 4.) (Zimmerman, 2000).

Die Aufgabenanalyse umfasst nicht nur das reine Analysieren der Anforderungen und das Identifizieren von potenziellen Schwierigkeiten, sondern beinhaltet auch die Aspekte der Zielsetzung und Strategieplanung. Lernende legen fest, welche Ergebnisse sie bei der Handlung erzielen wollen und organisieren diese nach deren Wichtigkeit. Nach Analyse der Aufgabe und Festlegung der zu erreichenden Ziele sind Lernende in der Lage, passende Strategien zur Zielerreichung abzuwägen und sich unter Einbezug der konkreten Situation für die optimale Strategie zu entscheiden.

Zur Selbstmotivation zählt die Selbstwirksamkeit, die Entwicklung von Erwartungshaltungen, intrinsisches Interesse und Zielorientierung. Unter Selbstwirksamkeit versteht man die Überzeugung einer Person, über die notwendigen Mittel zu verfügen, eine Handlung durchzuführen oder ein Ziel zu erreichen (Zimmerman, 2000). Ist diese Überzeugung vorhanden, so werden Erwartungshaltungen gegenüber dem Resultat der Handlung entwickelt. Fühlt sich ein*e Schüler*in beispielsweise dazu in der Lage, die Aufgaben einer Klassenarbeit zu lösen, so wird diese*r automatisch eine Erwartungshaltung gegenüber der Bewertung der Arbeit entwickeln, z.B. dass eine gewisse Punktzahl oder Note erreicht werden soll. Intrinsisches Interesse an der Handlung oder Aufgabe führt zu einer hohen Motivation, welche für die tatsächliche Ausführung der Handlung entscheidend sein kann. Ist die Motivation des Lernenden zur Initiierung der Handlung ausreichend, so folgt die Handlungsphase, welche in Selbstkontrolle und Selbstbeobachtung zu gliedern ist. Selbstkontrolle schließt hierbei volitionale Prozesse ein, welche zur Fokussierung auf die Aufgabe und zur Optimierung der Handlung dienen. Da es sich um einen selbstregulierten Lernprozess handelt, erfolgt eine Selbstinstruktion, bei der die Lernenden die Vorgehensweise bei der Handlung formulieren. Hierbei ist die Erzeugung von mentalen Bildern (engl. imagery) hilfreich, da so die auszuführenden Handlungsschritte sowie deren Abfolge visualisiert werden und leichter ausgeführt werden können.

Bei Ausführung der Handlung ist auch die Fokussierung der Aufmerksamkeit relevant, indem Lernende für die Handlung irrelevante Gedanken und Reize regulieren, sodass eine Fortführung der Handlung möglich ist. Weiter nennt Zimmerman (ebd.) Aufgabenstrategien als letzten

Aspekt der Handlungsphase. Lernende erleichtern die Durchführung der Handlung, indem sie kognitive und ressourcenbezogene Lernstrategien anwenden, um die Handlung in Schritte aufzugliedern und diese nach Priorität zu ordnen. Im Gegensatz dazu bezieht sich Selbstbeobachtung auf die Bewertung der Handlung in einem metakognitiven Prozess, welcher Selbstaufzeichnung und Selbstexperimente einschließt. Lernende beobachten und zeichnen die Effekte einzelner Aspekte der Handlung auf, sodass Schlussfolgerungen bezüglich deren Effektivität gezogen werden können. Dies ermöglicht es Lernenden, Muster zu erkennen und diese bei der nächsten Handlungsplanung bei der Planung ihrer Strategien zu berücksichtigen. Schüler*innen, die für eine schriftliche Überprüfung in der Regel durch Schreiben und Wiederholen einer schriftlichen Zusammenfassung lernen, haben vielleicht die Effektivität des Zusammenfassens und Wiederholungsstrategien optimiert. Durch Selbstexperimente könnte dennoch eine Handlungsoptimierung erfolgen, wenn die Schüler*innen neue Methoden wie das Vernetzen der Themen in einer Mindmap oder das Erstellen von worked-out examples zur Anwendung der Inhalte ausprobieren.

Nach Durchführen der geplanten Handlung erfolgt eine Reflexion des bisher erfolgten Prozesses, die Selbsteinschätzung und Selbstreaktion einschließt (ebd.). Lernende betreiben Selbsteinschätzung, indem sie eine Evaluation der in der Selbstbeobachtung erfassten Informationen mit dem zu erreichenden Zielen vergleichen (Ist-Soll-Vergleich). Bei diesem Vorgang können verschiedene Bezugsnormen zur Evaluation genutzt werden, zum Beispiel wenn Lernende die beobachteten Ergebnisse mit vergangenen Ergebnissen im Rahmen der individuellen Norm vergleichen, was Zimmerman als „self-criteria“ bezeichnet (ebd.), oder aber ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Lernenden erfolgt, was einem sozialen Kriterium entspricht. Als weiterer Punkt beinhaltet die Kausalattribution, dass Lernende ihren im Rahmen der Selbstevaluation festgestellten Erfolg oder Misserfolg einer Ursache zuschreiben (Kelley, 1967; Weiner, 1986). Zeigen Lernende internale Attributionsmuster, so schreiben sie sich den Erfolg oder Misserfolg selbst zu, attribuieren sie external, so werden andere Faktoren wie Lehrpersonen, Mitschüler*innen, der Zufall oder andere Umstände als für den Ausgang der Handlung verantwortlich empfunden (ebd.). Diese Ursachenzuschreibung kann entweder stabil oder variabel sein, was sich darauf bezieht, ob Lernende die Ursachen Faktoren zuzuschreiben, welche sie beeinflussen können und Konsequenzen für das zukünftige Handeln der Lernenden besitzt. Die Selbsteinschätzung löst eine emotionale Reflexion der Ergebnisse bezüglich der Zufriedenheit der Lernenden und der Konsequenzen für zukünftige Lernprozesse aus, welche Zimmerman Selbstreaktion nennt (ebd.). Die Zufriedenheitsbewertung ist ausschlaggebend für

den Selbstregulationsprozess, da diese eine Auswirkung auf die Motivation für zukünftige Handlungen besitzt. Die persönliche Bewertung durch den Lernenden beeinflusst, wie ambitioniert die Ziele für die nächste Handlung in der Planungsphase gesetzt werden und ob eine ausreichende Motivation vorhanden ist, um die nächste Ziel- bzw. Strategieanpassung zu initiieren. Die Reflexion beinhaltet auch Interferenzen darüber, wie der Lernprozess in der Zukunft angepasst werden sollte (ebd.). Fallen diese adaptiv aus, so optimieren Lernende die Bereiche, in denen sie Defizite feststellen, im zukünftigen Lernprozess. Defensive Interferenzen haben dagegen einen negativen Effekt auf zukünftige Lernprozesse, da Lernende statt einer Optimierung der Lernprozesse in Vermeidungsverhalten wie zum Beispiel Prokrastination verfallen, um eine Unzufriedenheit mit dem Lernprozess in der Zukunft zu vermeiden. Der cyclische Aufbau des Modells (Abb. 4) verdeutlicht, dass Selbstregulationsprozesse insofern eine Iteration erfahren, dass durch Reflexion der durchgeführten Handlung eine Rückmeldung über die Handlung erhoben wird und als Konsequenz die Ziele, welche mit der erneuten Handlungsaufnahme verbunden sind, angepasst werden.

Motivation als Teilaspekt der Selbstregulation

Beim schulischen Lernen spielt besonders die Motivation als Teilaspekt der Selbstregulation eine bedeutende Rolle und wird deshalb näher dargestellt. Allgemein bezeichnet Motivation die *„aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand“* (Rheinberg, 2006). Demnach ist Motivation klar abzugrenzen von Motiven oder Motiviertheit, worunter eine stabile, personengebundene Disposition oder Charaktereigenschaft einer Person verstanden wird. Weiter lässt sich Motivation in intrinsische und extrinsische Motivation unterscheiden, da einerseits eine Motivation der Lernenden von einem äußeren Reiz initiiert werden kann und andererseits die Handlung einen Selbstzweck erfüllt oder in internal positiven Emotionen der Lernenden resultiert. Letzteres wird als intrinsische Motivation bezeichnet und beschreibt die Partizipation an einer Handlung aus Interesse an der Aktivität selbst. Hierbei resultiert intrinsische Motivation in selbstbestimmtem Verhalten (Deci & Ryan, 2002). Auf einem Spektrum ist der Gegenpol der intrinsischen Motivation die Amotivation, welche zu einer passiven, automatisierten Erfüllung der Aufgabe oder zur Untätigkeit führt (ebd.). Beispielsweise könnte ein*e Schüler*in für eine Klausur lernen, weil diese*r sich einfach für das Thema interessiert und ihr/ihm das Erstellen von Zusammenfassungen Spaß macht, womit das Lernen intrinsisch motiviert wäre. Lernen die Schüler*innen im Gegensatz dazu, um eine gute Note zu erzielen oder um Diskussionen mit

ihren Eltern zu vermeiden, so besitzt das Lernen keinen intrinsischen Wert, welcher zur Handlungsinitiierung ausreicht, sondern wird extrinsisch durch positive Konsequenzen oder der Vermeidung von negativen Konsequenzen der Handlungsausführung motiviert. Bei Amotivation wird der Lernende entweder gar nicht für die Klausur lernen, das Lernen prokrastinieren oder aber mechanisch die behandelten Inhalte überfliegen, ohne gezielt zu Lernen.

Häufig verwendet wird der Begriff der aktuellen Motivation (engl. State), welcher aus einer Interaktion der langfristigen Dispositionen einer Person und Aspekten des Umfeldes resultiert, also der konkreten Situation. Bei dieser Interaktion von Person und Umwelt hängt es von der konkreten Situation ab, was als motivierend wahrgenommen wird (Sommer, Wambach-Laicher & Pfeifer, 2018). Kurzfristig hat die aktuelle Motivation einen Einfluss auf die Handlungsausführung selbst, langfristig aber auch auf die zukünftige Motiviertheit bei der erneuten Handlungsaufnahme (ebd.). Dies zeigt, dass die aktuelle Motivation immer einem Zusammenspiel von Personeneffekten und den Umständen der Lernsituation unterliegt, da sich das Interesse auf die Lernenden, die weiteren Aspekte dahingegen auf die Situation beziehen. Zudem sind durch den Fragebogen nur Aussagen zur aktuellen Motivation möglich, jedoch ist eine Erfassung der Motivation oder Vorhersagen zur Motivation nur schwer möglich (ebd.). Im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie beschreiben Deci und Ryan (2002) drei Grundbedürfnisse, deren Befriedigung zum Auftreten intrinsischer Motivation unerlässlich sind. Empfinden Lernende, dass ihr Lernen selbstbestimmt ist, sind sie sozial eingebunden und empfinden sich als kompetent, wodurch die Voraussetzungen für das Auftreten von intrinsischer Motivation gegeben sind (Sommer et al., 2018). Die extrinsische Motivation wird von Deci & Ryan (2002) dahingehend unterteilt, dass auf einem Motivationskontinuum daraus vier Arten der Regulation (external, introjiert, identifiziert und integriert), die in einem zunehmend selbstbestimmten Handeln resultiert (Deci & Ryan, 2002). Externale Regulation bezieht sich auf eine Motivation, welche auf das Erzielen einer Belohnung oder Vermeiden einer Bestrafung bei Ausführung der Handlung basiert. Die introjierte Regulation bezieht sich auf eine teilweise Internalisierung der externalen Regulation und ist somit selbstbestimmter als die ausschließlich externale Regulation. Hierbei wird die Motivation zur Handlung jedoch trotzdem als fremdbestimmt wahrgenommen. Ist die Regulation dahingehend identifiziert, so wurde eine einstmals introjierte Regulation von den Lernenden vollständig internalisiert und die im Rahmen der Regulation gesetzten Ziele werden persönlich wertgeschätzt (ebd.). Jedoch würden Lernende die Tätigkeit vermutlich nicht ohne die von außen einwirkender Notwendigkeit ausüben. Allerdings tendieren Lernende, ohne den äußeren Zwang dazu,

externe Ansprüche und somit auch die Regulation von wichtigen, aber intrinsisch unmotivierenden Tätigkeiten zu internalisieren, was auf soziale Effekte zurückzuführen ist (Koestner & Loiser, 2004). Dies ist besonders der Fall bei der integrierten Regulation, welche stark der intrinsischen Regulation ähnelt, also einer Ausübung der Handlung als Selbstzweck. Sie unterscheidet sich aber dahingehend, dass sie aus einer zunächst externen Regulation entwickelt werden kann und dann vom Lernenden internalisiert wird und als eigene Motivation wahrgenommen wird (Deci & Ryan, 2002).

Förderung der Selbstregulation

Allgemein werden bei der Förderung der Selbstregulation im schulischen Kontext indirekte und direkte Methoden unterschieden (Perels et al., 2020). Zu den indirekten Methoden zählen Interventionen, welche Eltern- oder Lehrertraining einschließen oder die Lernumgebung insofern verändern, dass selbstreguliertes Lernen gefördert wird (Kompendium Multimediales Lernen, 2008). So erzielten Merget-Kullmann, Wende und Perels (2007) beispielsweise eine Steigerung der Selbstregulation von Kindern im Vorschulalter durch ein Training der Erzieher und Erzieherinnen, was zeigt, dass Lernende bei indirekten Methoden durch Transfer die eigene Selbstregulation verbessern können (Benick et al., 2019). Direkte Methoden zielen auf die Förderung der Selbstregulation der Lernenden durch das Training von Strategien ab (Kompendium Multimediales Lernen, 2008). Wie Dignath et al. (2008) beschreiben, ist der Einsatz von Selbstregulationstraining bereits in der Primarstufe effektiv und führt zur Steigerung der Selbstregulation und Lernleistung. Betrachtet man direkte Methoden, so können diese weiter in eine Förderung aller Aspekte des SRL-Ansatzes gegenüber der selektiven Förderung einiger bestimmter Aspekte der Selbstregulation unterschieden werden (Perels et al., 2020). So wurden beispielsweise bei der Intervention von Dignath et al. (2008) ausgewählte Aspekte der Selbstregulation gefördert mit dem Befund, dass die besten Effekte bei Kombination der Förderung von metakognitiven und motivationalen Strategien oder von kognitiven und metakognitiven Strategien erzielt werden. Allerdings kann die Förderung ausgewählter Aspekte der Selbstregulation in einigen Fällen zu einer Verbesserung nicht explizit geförderter Subskalen der Selbstregulation im Rahmen von Synergieeffekten führen (Pickl, 2004).

Die Dauer von Interventionen kann von wenigen Stunden (Azevedo et al., 2007; Donker et al., 2014) bis zu mehreren Wochen oder Monaten variieren (Pickl, 2004). Bei längeren Interventionen ist eine sowohl zur Förderung als auch Erfassung der Selbstregulation häufig eingesetzte Methode das Führen von (Lern-)Tagebüchern (siehe Schmitz & Perels, 2011;

Dignath et al., 2015). So konnte Perels (2015) einen positiven Effekt auf die Selbstregulation durch eine Unterstützung eines Hausaufgabentrainings mit Lerntagebüchern finden. Das Lerntagebuch wurde hierbei nach dem Training, welches in zehn Präsenzsitzungen abgehalten wurde und Aspekte beinhaltete, welche den einzelnen Phasen der Selbstregulation zugeordnet werden können, sowie nach der Bearbeitung von Hausaufgaben, welche Schüler*innen zur Anwendung und Einüben der vermittelten Strategien nutzen sollten. Das standardisierte Lerntagebuch dient hier einerseits zur Diagnostik anhand des Erfassens des momentanen Zustands der Lernenden an mehreren Zeitpunkten und kann andererseits auch zur Förderung der Reflexion der Lernenden genutzt werden. Dadurch wird selbstreguliertes Lernen durch Selbstbeobachtung und Reflexion gleichermaßen wie der Transfer des im Training behandelten Inhalte auf die Alltagsprozesse der Lernenden gefördert (Landmann & Schmitz, 2007).

Da die Bearbeitung des Lerntagebuchs im außerschulischen Kontext von der Motivation der Lernenden abhängig ist, muss dieses motivierend gestaltet werden (Landmann et al., 2015). Wie Landmann & Schmitz (2007) aus ihrem Einsatz von Lerntagebüchern zur Verbesserung der Selbstmotivierung schlossen, sollte der Einsatz dieser stets mit Feedback und in Kombination mit einem Training erfolgen (Dignath et al., 2015). Zur Konzeption eines effektiven Trainings sollte beachtet werden, dass das Selbstregulationstraining nicht unbedingt losgelöst von Lerninhalten eingesetzt werden sollte (siehe z.B Perels, Gürtler & Schmitz, 2005). Bei einer inhaltlichen Abstimmung des Selbstregulationstrainings an die zu vermittelnden Inhalte und einer Integration in den Vermittlungsprozess von Fachinhalten kann die Effektivität des Trainings gesteigert werden (Perels, 2003; Klauer, 2000, in: Perels et al. 2020). Dies kann durch die Kontextgebundenheit der Selbstregulation erklärt werden, da Selbstregulation in einer Domäne nicht unbedingt eine Steigerung der akademischen Leistung in anderen Domänen bedeutet, weil der Transfer der Konzepte der Selbstregulation nicht zwingend stattfindet (PISA, 2000).

Werden Aspekte der Selbstregulation dahingegen zusammen mit Fachinhalten vermittelt, kann eine direkte Anwendung der im Training vermittelten Strategien zur Förderung der Selbstregulation anhand der Fachinhalte stattfinden. Selbstverständlich erfolgt ein effektiver Einsatz der Strategien erst nach deren mehrmaliger Verwendung und Automatisierung. Dennoch müssen die Inhalte des Selbstregulationstrainings nicht auf einer Metaebene verarbeitet werden, sondern können direkt auf konkrete Inhalte angewandt werden. Zudem sollte das Training möglichst motivierend gestaltet werden, wozu laut Landmann et al. (2015)

beispielsweise kooperatives Lernen, das Bewusstmachen des Lernfortschritts und Wahlmöglichkeiten bei Bearbeitung von Aufgaben oder Wahl von Methoden zählen.

Selbstregulation und digitale Medien

Besonders digitale Medien haben sich zur Förderung der Selbstregulation als erfolgreich gezeigt. Hierbei sind mehrere Realisierungsformen denkbar, wie eine multimediale Lernumgebung, welche im schulischen Rahmen bearbeitet wird, ein Onlinetraining durch Lernplattformen, welche von Lernenden in Eigenregie bearbeitet werden oder Simulationen (Winters, Greene & Costich, 2008). Bellhäuser et al. (2016) untersuchten den Einfluss von internetbasiertem Training auf die Selbstregulation, wobei dieses eine simultane Förderung einer hohen Anzahl an Teilnehmenden ermöglicht (ebd.). Die computerbasierte Lernumgebung beinhaltet Hilfestellungen, wie die Möglichkeit, Inhalte durch Notizen oder eine Mindmap festzuhalten sowie Hilfestellungen zur Zielsetzung. Zusätzlich zur Lernumgebung wurden Lerntagebücher und Fragebögen eingesetzt, um das deklarative Wissen zu fördern und die Entwicklung der Selbstregulation zu dokumentieren (ebd.). Wie Perels und Dörrenbächer (2018) feststellten, lassen sich bezüglich der Förderung von Selbstregulation gute Effekte durch technologiebasierte Medien erzielen. Hierbei beziehen sie sich konkret auf technologiebasierte Bildungsmedien, also digitale Medien, die sich auf das Lehren und Lernen beziehen. Zur erfolgreichen Interaktion mit technologiebasierten Bildungsmedien ist bereits Selbstregulation seitens der Lernenden von Nöten. Allerdings erweist sich die Förderung mancher Aspekte der Selbstregulation, wie motivationale Strategien und Strategien, die die Informationsverarbeitung der Lernenden verbessern, als besonders förderlich. (Perels & Dörrenbächer, 2018). Einen Vorteil des Einsatzes von digitalen Medien sehen Perels und Dörrenbächer in der Ergänzung um Hilfestellungen wie beispielsweise durch Prompting oder Scaffolding (ebd.). Prompting kann hierbei die Abrufbarkeit des Wissens der Schüler*innen verbessern, während Scaffolding den Lernenden durch schrittweise Eliminierung von zunächst bereitgestellten Hilfestellungen als Gerüst an ein selbstständiges Lösen von Problemen ermöglicht, welche zuvor außerhalb ihrer Lösungskompetenz lagen.

2. Entwicklungsarbeit

Aus den Darstellungen des Theorieteils ergibt sich für diese Arbeit ein Forschungsdesiderat zur Untersuchung des gewinnbringenden Einsatzes nicht nur über einen monoperspektivischen Ansatz, sondern im Sinne einer multiperspektivischen Untersuchung zur Konzeption und Implementation digitaler Medien für das Fach Chemie. Unter Berücksichtigung und Vernetzung fachdidaktischer, fachmediendidaktischer und bildungswissenschaftlicher Kriterien werden praxisrelevante Lehr-Lern-Konzepte entwickelt und hinsichtlich ihrer Potentiale für Lehr-Lernsituationen im Fach Chemie evaluiert. Zur Identifikation des Mehrwertes digitaler Medien in verschiedenen didaktischen Funktionen werden Aspekte selbstregulierten Lernens als Indikatoren herangezogen.

Die Lehr-Lernszenarien, die auf Grundlage der drei Perspektiven entwickelt wurden, werden hinsichtlich ihrer didaktischen Einbettungsmöglichkeiten sowie ihrem Potential zur Steigerung lernpsychologischer Indikatoren, wie z.B. die Selbstregulation, dargestellt. Zunächst wird das Format eines Erklärvideos im Chemieunterricht betrachtet. Hierbei werden verschiedene Anwendungsmöglichkeiten solcher Videos aufgezeigt und Vorschläge für einen fachdidaktisch sinnvollen Einsatz im Chemieunterricht gemacht. In Kapitel 3.2 liegt der Schwerpunkt auf Augmented Reality als Lernwerkzeug im Chemieunterricht und seinen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten hinsichtlich Individualisierung durch Erweiterung der realen Lernumgebung mit virtuellen Zusatzinformationen. Abschließend wird in Kapitel 3.3 der Einsatz interaktiver eBooks im Chemieunterricht, sowohl in Form von Multitouch Learning Books als auch in der Variante einer Multitouch Experiment Instruction, näher betrachtet. Beide Formen bieten eine gute Grundlage, die oben beschriebenen Perspektiven miteinander zu verbinden und dadurch gezielt zu fördern. Besonders Multitouch Experiment Instructions können unter Berücksichtigung digitaler Gestaltungsmerkmale und einem ausgewählten fachdidaktischen Lerngegenstand einerseits den Erwerb fachlicher sowie fachmediendidaktischer und andererseits lernpsychologischer Kompetenzen unterstützen.

Publikationen der Dissertationsschrift im Überblick

Kapitel 2.1: Erklärvideos als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht

Publikation A:

Seibert, J., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2019) - EXPlainistry – Documentation, explanation and visualization of chemical experiments supported by ICT in schools. Journal of Chemical Education. doi: 10.1021/acs.jchemed.8b00819

Kapitel 2.2: Augmented Reality als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht

Publikation B:

Seibert, J., Lang, V., Dörrenbächer-Ulrich, L., Marquardt, M., Perels, F., Kay, C. W. M. (2019). EscapeLab: Gamification als Lernwerkzeug zur Individualisierung im Chemieunterricht. Computer & Unterricht. Heft 115, 23-25.

Publikation C:

Huwer, J., & Seibert, J. (2018). A new way to discover the chemistry laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License. World Journal of Chemical Education, 6(3). 124-128. doi: 10.12691/wjce-6-3-4.

Publikation D:

Seibert, J., Marquardt, M., Schmoll, I., Huwer, J. (2019) AR bringt mehr Tiefe in Experimentalanleitungen. Computer & Unterricht. Heft 114. 32-34.

Publikation E:

Seibert J., Marquardt, M., Gebhard, M., Kay, C.W.M., Huwer, J. (2020). Augmented Reality zur Visualisierung der Teilchenebene am Beispiel des Li-Ion Akkus. Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 177/178, 86-91.

Kapitel 2.3: Interaktive eBooks, in Form von Multitouch Learning Books und Multitouch Experiment Instructions, als digitale Lernbegleiter im Chemieunterricht

Publikation F:

Huwer, J., Bock, A., Seibert, J. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. American Journal of Educational Research, 6(6), 763-772. doi: 10.12691/education-6-6-27.

Publikation G:

Seibert, J., Marquardt, M., Pinkle, S., Carbon, A., Lang, V., Perels, F., Kay, C.M.W., Huwer, J. (2020). Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book, World Journal of Chemical Education. 8(1), 9-20. doi: 10.12691/wjce-8-1-2.

Publikation H:

Huwer, J., Seibert, J., & Brünken, J. (2018). Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht. 2018(03), 181-186.

Publikation I:

Seibert J., Schmoll, I., Kay, C.W.M., Huwer, J. (2020). Promoting Education for Sustainable Development with an Interactive Digital Learning Companion Students Use to Perform Collaborative Phosphorus Recovery Experiments and Reporting. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00408

Publikation J:

Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., Kay, C.M.W., Huwer, J. (2019). Multitouch Experiment Instructions for a Better Learning Outcome in Chemistry Education, World Journal of Chemical Education. 8(1), 1-8. doi: 10.12691/wjce-8-1-1

Publikation K:

Seibert, J., Ollinger, F., Perels, F., Kay, C. W., & Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction and Self-Regulation. *International Journal of Physics & Chemistry Education*. 12(4). 75-88. doi: 10.51724/ijpce.v12i4.127

Publikation L:

Seibert, J., Heuser, K., Perels, F., Huwer, J., Kay, C.W.M. (2021). Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 98 (5). 1602-1609. doi: 10.1021/acs.jchemed.0c01177

2.1. Erklärvideos als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht

Der Einsatz von Erklärvideos findet in der heutigen Zeit durchaus großen Zuspruch. Gerade für Schüler*innen bieten Videos, die auf verschiedenen Plattformen wie Youtube angeboten werden, vor allem außerhalb der Schule, die Möglichkeit, sich mit dem Lerninhalt zu befassen und dabei auch unterschiedliche Verarbeitungskanäle kognitiv zu beanspruchen. Vor allem der motivationale Aspekt, der für Schüler*innen häufig bei der Verwendung solcher Videos eine Rolle spielt, kann nicht außer Acht gelassen werden. Unter anderem aus diesem Grund sollte das didaktische Potential solcher Videos auch für den Unterricht berücksichtigt und nutzbar gemacht werden. Insgesamt können Erklärvideos in vier Kategorien eingeteilt werden. Zur ersten Kategorie zählen fremderstellte/wenig reflektierte Erklärvideos. Diese, doch sehr frei interpretierten, oft sprachlich vulgären Erklärvideos, beinhalten meist Fehler, die ebenso wenig auf das schulische Lernen abgestimmt sind, noch individualisiertes Lernen oder das Erlernen von Fachsprache ermöglichen. Neben den frei verfügbaren, wenig didaktisch reflektierten, Erklärvideos auf Plattformen wie YouTube existieren eine Vielzahl didaktisch reflektierte Erklärvideos, die der Kategorie zwei zuzuordnen sind. Verschiedene Didaktik-Institute bieten ebenfalls Erklärvideos online an. Hierbei werden auch oft Modell-Lernende angesprochen, was wiederum zur Folge hat, dass die Videos oft nicht zum individuellen Lernen im Unterricht eingesetzt werden können. Zur Fokussierung des Individualisierungsaspekts sind Videos aus Kategorie drei, von den Lehrkräften selbsterstellte Erklärvideos besser geeignet. Diese haben den Vorteil, dass sie genau auf die Lerner*innengruppe abgestimmt sind und teilweise individuelles Lernen ermöglichen können. Eine zweite Unterkategorie der selbsterstellten Videos sind von Schüler*innen erstellte Erklärvideos. Hierbei handelt es sich vielmehr um eine Methode, als um ein Medium zur Reproduktion, wobei die Schüler*innen zur Erarbeitung der Lerninhalte von der Rolle des Recipienten in die Rolle des Produzenten wechseln. Diese Methode ermöglicht es, dass Schüler*innen ihre Stärken individuell einbringen können und sie lebt davon, dass die Lernenden in die Rolle des Erklärers schlüpfen. Somit erfolgt ein „Lernen durch Erklären“, was einerseits die Kreativität der Schüler fördern kann und andererseits eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lernstoff mit sich bringt.

Schülererstellte Erklärvideos aus fachdidaktischer Sicht:

Besonders die in Abschnitt 2.1.4 beschriebene Visualisierung und Dynamisierung von Teilchen insbesondere die ablaufenden Prozesse auf Teilchenebene zur Erklärung eines Phänomens kann mit Hilfe eines Erklärvideos lernförderlich im Chemieunterricht thematisiert werden. Durch

die neuen Möglichkeiten, die mit einem solchen Format einhergehen, können genau diese Visualisierungstechniken thematisiert und angewandt werden. Die in diesem Kapitel beschriebenen Erklärvideos folgen immer einem einheitlichen Format. So haben die Schüler*innen die Aufgabe, das Experiment im Video zu protokollieren, in dem sie zum einen in der „Beobachtung“ das beobachtete Phänomen auf makroskopischer Ebene in einen relevanten Kontext darstellen und zum anderen in der „Erklärung“ die kausalgenetischen Zusammenhänge der Beobachtung aus submikroskopischer Sicht aufarbeiten, visualisieren und erklären. Aus fachdidaktischer Sicht bringt ein solches Format den Vorteil, dass das Experiment multiperspektivistisch behandelt werden kann. Die Relevanz liefert auf beobachtbarer Ebene den Grund, warum sich die Schüler*innen überhaupt mit dem Thema auseinandersetzen sollen. Die Visualisierung der Teilchenebene führt u.a. dazu, dass es zu einem tieferen Verständnis kommen kann und zudem fachliche Kompetenzen geschult werden, da die beiden Bereiche der makroskopischen und submikroskopischen Ebene, durch deren Wechsel und Vermischung oft Fehlkonzepte erzeugt werden, klar voneinander getrennt werden. Der Einsatz einer solchen Methode im Chemieunterricht kann zudem das individuelle Lernen fördern. Durch eine gruppenzentrierte Arbeitsweise können die Schüler*innen untereinander ihre Stärken besser verteilen und entsprechend gewinnbringend in den Unterricht einbringen. Der große Vorteil dieser Methode ist es, dass sie in unterschiedlichen Situationen im Unterricht eingesetzt werden kann. Zentraler Aspekt dabei ist es, dass die Schüler*innen die Möglichkeit bekommen, ihre Vorstellung von Teilchen zu visualisieren. An welcher Stelle sie im Unterricht eingesetzt wird, hängt ganz allein vom gewünschten Zweck ab. Wird das selbstständig erstellte Video zu Beginn einer Unterrichtsreihe eingesetzt, dient es der Lehrkraft als Diagnosetool zur Erhebung des Vorwissens bzw. zur Diagnose entsprechender Fehlvorstellungen. Die Methode kann aber auch zur Erarbeitung eines neuen Lerninhalts verwendet werden. Innerhalb des Erarbeitungsprozesses im Unterricht dient die Methode zur Dokumentation des Experiments mit anschließender Erklärung durch die Schüler*innen. Auch hier dient das fertige Schüler*innenprodukt als Diagnosewerkzeug für die Lehrkraft, um einerseits den Lernstand zu erheben und andererseits die Folgestunden dazu zu nutzen, um Fehlvorstellungen bei Schüler*innen zu korrigieren.

Schülererstellte Erklärvideos aus fachmediendidaktischer Sicht:

Aus fachmediendidaktischer Sicht können schülererstellte Erklärvideos das Lernen ebenfalls in einer aktiven Unterrichtssituation anreichern. So können besonders in diesem Zusammenhang

digitale Kompetenzen (KMK, 2016) durch den Einsatz dieser Methode im Unterricht gefördert werden. Neben dem fachchemischen Inhalt erlernen die Schüler*innen den Umgang mit verschiedener Software. Einerseits müssen die Schüler*innen den Umgang mit verschiedenen Apps zur Videobearbeitung, wie z.B. das Erstellen von StopMotion Videos, der Videoschnitt und die Vertonung von Videos, erlernen und andererseits je nach Einsatzgebiet das digitale Medium zum onlinebasierten Recherchieren zweckgemäß einsetzen. Insbesondere Letzteres bietet die Möglichkeit, allgemeine digitale Kompetenzen, wie es auch die KMK (2016) fordert, innerhalb des Fachunterrichts auszubilden und weiterzuentwickeln.

Schülererstellte Erklärvideos aus lernpsychologischer Sicht:

Mayer (2005) beschreibt in der CTML wie multimediale Lerninhalte von der Darbietung bis hin zur Speicherung im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden. Dabei spielen verschiedene Prinzipien eine wichtige Rolle. Das Multimediaprinzip (vgl. Niegemann 2008) besagt hierbei, dass die Kombination aus Text und Bild lernförderlicher ist als der Text alleine. Relevant im Zusammenhang von EXPlainistrys ist hierbei auch das Modalitätsprinzip, wonach bei der Darstellung von Visualisierungen, beispielsweise durch Animationen, gesprochener Text besser geeignet ist als geschriebener, da hierdurch der visuelle Verarbeitungskanal beim Lernen entlastet wird, während der auditive Kanal zeitgleich Lerninhalte verarbeiten kann. Bei einer simultanen Präsentation von geschriebenem Text und Bild beziehungsweise Video wird allein der visuelle Verarbeitungskanal beansprucht und gegebenenfalls überlastet (vgl. ebd.). Die Kombination aus gesprochenem Text, Experimentalvideo und animierten Visualisierungen, beispielsweise in Form von Stop-Motion-Videos beim EXPlainistry, lässt sich also empirisch begründen und liefert nach der CTML (Mayer, 2009) auch die Voraussetzung zum sinnvollen Einsatz von EXPlainistrys im Chemieunterricht als Lernwerkzeug für Schüler*innen.

Durch die schüler*innenzentrierte Methode kann zudem das Selbstregulierte Lernen gefördert werden (Raaijmakers et al., 2018). Die Schüler*innen werden zu Autoren ihres eigenen Videos, bei dem sie die verschiedenen Prozessschritte planen, durchführen und im Anschluss evaluieren müssen. Diese drei Phasen erinnern an die in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Phasen der Selbstregulation nach Zimmermann (2000). Besonders die Planungsphase eines schüler*innenerstelltes Erklärvideo ist wichtig für den Verlauf sowie das Endprodukt und es lebt von der individuellen Hilfestellung durch die Lehrkraft. Diese hat im Verlauf der Methode vielmehr die Aufgabe eines Experten und begleitet den Lernprozess durch eine ständige Diagnose.

2.1.1. Das EXPlainistry - Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mit Hilfe digitaler Medien im Chemieunterricht

Die von Huwer und Seibert (2017) entwickelte Methode für den Einsatz von Erklärvideos, sogenannten EXPlainistrys, im Chemieunterricht beinhaltet neben der Erklärung chemischer Zusammenhänge auch die Dokumentation und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien. EXPlainistry ist eine Wortkomposition, die sich mit dem Satz „Experiments explained in Chemistry“ (Huwer & Seibert, 2017) erklären lässt. Das EXPlainistry hat als Erklärvideo eine vorgegebene Struktur, die drei Komponenten beinhaltet. Die erste Komponente ist die Relevanz. Hierbei geht es darum, dass Schülerinnen und Schüler herausfinden, welche Notwendigkeit das betrachtete chemische Grundphänomen, beispielsweise in ihrem Alltag oder der Industrie, hat. Durch diese Verknüpfung von Lerninhalten und Lebensweltbezug der Schüler*innen wird der Lernprozess unterstützt und durch motivationale Effekte initiiert (ebd.). Der zweite Teil eines EXPlainistrys beinhaltet die Darstellung des Experiments auf makroskopischer Ebene, also den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung. Der Vorteil im Vergleich zur „traditionellen“ Versuchsdokumentation auf dem Papier oder an der Tafel liegt vor allem darin, dass Beobachtungen während der Versuche immer wieder wiederholt, vergrößert oder verlangsamt/beschleunigt werden können. Sieve, Struckmeier, Taubert & Netrobenko (2015) beschreiben, wie mithilfe von Zeitlupen- oder Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Lernprozess von Schüler*innen unterstützt werden kann und welche didaktische Funktion diese Aufnahmen in Ergänzung zum klassischen Experiment haben. Diese Vorteile macht sich auch das Konzept **EXPlainistry** zu Nutze. Beispielsweise kann in einer zeitraffenden Aufnahme die Verdunstung von Wasser oder das Rosten eines Eisennagels für Schüler*innen sichtbar gemacht werden, während man bei einer Zeitlupe Reaktionen wie zum Beispiel das Entzünden eines Wasserstoffballons viel genauer beobachten kann (vgl. Sieve, Struckmeier, Taubert & Netrobenko, 2015). Auch der Einsatz einer Wärmebildkamera für die Aufnahme und Dokumentation eines Versuchs kann Prozesse für Schüler*innen sichtbar und besser verständlich machen (Sieve, 2016). Der dritte Bestandteil von **EXPlainistrys** ist die Erklärung auf Teilchenebene durch Visualisierungen. Chemische Vorgänge sind, auf Teilchenebene betrachtet, häufig dynamische Vorgänge, die im Unterricht beispielsweise an der Tafel häufig schwierig darzustellen sind. Das **EXPlainistry** versucht, diese Vorgänge auf Teilchenebene so zu visualisieren, dass sie für Schüler*innen als dynamischer Prozess nachvollziehbar werden. Dadurch wird der Aufbau und die Weiterentwicklung der chemischen Basiskonzepte, wie zum Beispiel dem Donator-Akzeptor-Prinzip, unterstützt

(Huwer & Seibert 2017). Beim **EXPlainistry** erstellen die Schüler*innen eigenständig eine dynamische Visualisierung, beispielsweise mit Stop-Motion-Filmen, um so die Vorgänge Schritt für Schritt zu erarbeiten und nachzuvollziehen. Hierbei kann auch das Anforderungsniveau angepasst werden, indem beispielsweise die Materialien und das zugrundeliegende Modell bereits vorgegeben werden oder indem die Visualisierungs- und Darstellungsmöglichkeiten offener gehalten werden, um den Schüler*innen eine eigenständige und kreative Planung der Visualisierung zu ermöglichen. Nach Huwer (2018) ist das **EXPlainistry** in allen Klassenstufen weiterführender Schulen einsetzbar und mit mittlerem Schwierigkeitsgrad und Vorbereitungsaufwand gerade für Projektarbeiten gut geeignet. Thematisch sollte ein **EXPlainistry** dann eingesetzt werden, wenn dynamische Vorgänge visualisiert, erklärt und verstanden werden sollen – mögliche Themenbereiche in der Chemie, die sich besonders anbieten, sind zum Beispiel das chemische Gleichgewicht oder die Änderung von Aggregatzuständen (Huwer, 2018). Eine Einführung in den Umgang mit dem Tablet sowie in die verwendeten Apps zum Beginn der Unterrichtseinheit sind hierbei notwendig. Hierbei ist es wie bei allen Methoden so, dass der Einsatz eines EXPlainistry erst mit einfachem oder schon bekanntem Inhalt trainiert werden muss, um zur Erarbeitung eines komplexen neuen Themas eingesetzt werden zu können. Am besten eignet sich die Einteilung der Schüler*innen in Gruppen mit drei bis vier Personen (vgl. Huwer & Seibert 2017). Die Durchführung der Methode orientiert sich an fünf Phasen. In der ersten Phase erfolgen die Instruktion und die Einführung durch die Lehrkraft. Die Schüler*innen erhalten ihr Thema sowie ihren Arbeitsauftrag und planen ihr Vorgehen in Bezug auf die drei Bestandteile Relevanz, Experiment und Erklärung auf Teilchenebene innerhalb des **EXPlainistry**. In der zweiten Phase führen die Schüler*innen das Experiment selbst durch und nehmen es mit der Kamera auf. Im Anschluss daran wird in der dritten Phase die Visualisierung und Dynamisierung auf Teilchenebene vorgenommen, indem zum Beispiel ein Stop-Motion-Video erstellt wird. Danach werden in der vierten Phase das Video geschnitten und die Tonspur zur Erklärung ergänzt. Zum Abschluss des Projektes stellen die Schüler*innen ihre Arbeiten vor. Sie präsentieren ihr Ergebnis vor der Klasse und erhalten Rückmeldungen aus ihrer eigenen Gruppe, von den Mitschüler*innen sowie der Lehrperson (vgl. Seibert, Kay & Huwer 2019). **EXPlainistrys** können nach Seibert, Kay & Huwer (2019) mit unterschiedlichen Funktionen im Unterricht eingesetzt werden. Demnach dienen **EXPlainistrys** vorrangig als Lernwerkzeug für Schüler*innen. Werden bereits produzierte **EXPlainistrys** als Erklärvideos eingesetzt, so erhöhen sie zum einen die Vielfalt der Lernmöglichkeiten und -

methoden, zum anderen können sie aber auch genutzt werden, um Informationen daraus zu sammeln oder darauf aufbauend als Grundlage für weitere Visualisierungen zu dienen.

Publikation A:

EXPlainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions

Johann Seibert¹, Christopher W. M. Kay¹ and Johannes Huwer²

Eingereicht am 18. Oktober 2018

Angenommen am 16. August 2019

Publiziert am 30. September 2019

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Christopher W. M. Kay and Johannes Huwer, Journal of Chemical Education, 2019, 96 (11), 2503-2509

Copyright © 2019, American Chemical Society.

DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation durchgeführt und ausgewertet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

EXplainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions

Johann Seibert,^{†,‡,§} Christopher W. M. Kay,^{†,§,||} and Johannes Huwer^{*,‡}

[†]Physical Chemistry and Didactics of Chemistry, University of Saarland, Saarbrücken, 66123, Germany

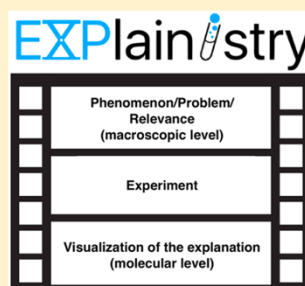
[‡]Chemistry and Chemistry Education, University of Education Weingarten, Weingarten, 88250, Germany

[§]London Centre for Nanotechnology, University College London, London WC1H 0AH, U.K.

Supporting Information

ABSTRACT: Given that students are constantly communicating and documenting special experiences in their social and private lives with digital devices, we suggest that this behavior could be used to record and deepen learning experiences—such as visualizing reactions at the molecular level—in a chemistry class. An example would be the creation of stop-motion videos to aid the visualization process for the documentation of experiments. This approach makes use of well-established techniques for documentation and visualization (e.g., static models or pictures) and combines them with dynamic approaches (e.g., animations) in order to enhance explanations of chemical experiments. Here, we describe how we use this approach to augment the novel teaching method, EXplainistry (experiments explained in chemistry) with 5th to 12th graders, and consider how it helps students use ICT (information and communications technology) in order to document, explain, and visualize experiments in chemistry education.

KEYWORDS: High School/Introductory Chemistry, Collaborative/Cooperative Learning, Computer-Based Learning, Inquiry-Based/Discovery Learning, Misconceptions/Discrepant Events, Multimedia-Based Learning



INTRODUCTION

In 2016, Jordan et al. found that students with the help of self-created videos have a higher learning success and autonomy in experimenting and understanding than students without this method.¹ Also, Benedict and Pence had already discussed in 2012 the possibilities of using self-created videos in chemistry education.² However, that work deals exclusively with the use of ICT (information and communications technology) for experimenting and documenting chemical reactions at the macroscopic level. It is important to properly document an experiment on this level. A major problem in chemistry lessons is the consideration of processes at the particle level. Jones described in 2013 the importance of such a multimedia-based molecular visualization of the reactions discussed in class.³ Johnstone mentioned already in 1982, the importance of this cognitive separation.⁴ To demonstrate the separation of those levels, water can be used as a prime example. The macroscopic level can be seen in a drop of water, as it describes what the eyes can directly observe. The molecular or microscopical level shows water on its particle level. The symbolic level is the third way to describe water, with its formula H_2O . Those three levels need to be separated from each other and will also play an important role in using EXplainistry ("Experiments explained in chemistry") in chemistry education.

Another important aspect in chemistry education is the relevance of chemical reactions in students' everyday life. In 2013, Stuckey et al. described how the relevance of students' learning changes over the course of their education.⁵ The idea of developing the EXplainistry format, is to bring these three elementary aspects of chemistry teaching together and at the same time develop an additional diagnostic tool for the instructors. By using the method EXplainistry the instructor is able to receive a visual interpretation of the student's imagination by combining relevance, experiment, and particle level imagination. After a successful diagnosis, this can lead to an individualized help for each student.

Computers, as typical representatives of ICT, enrich learning by unlocking methodological diversity.⁶ An example of visualization and explanation within the teaching of chemistry is EXplainistry developed by our team. The basic didactic method underlying this approach is called "learning by explaining", in which the students create short—3 to 5 min—explanatory videos.⁷ Chemistry education puts the main emphasis on experiments and is therefore more tangible than

Received: October 18, 2018

Revised: August 16, 2019

other subjects, such as languages or liberal arts. EXPlainistry is another approach that makes use of this tangibility and actively includes students within their classroom setting. Importantly, it is student-centered and incorporates several key guiding principles of learning, such as product and process orientation, and reflection on the learning process itself. When creating these videos, students should primarily experiment independently and also think about the explanation that they give to their classmates in order to capture the ideas conveyed by the accompanying images. Through the use of digital media and associated methods as learning tools, the students can be guided toward the required academic goals of a chemistry course. In an informal lesson, students can create such clips in small groups for either the same or different experiments or topics. The “Learning by Explaining” approach in the style of EXPlainistry cultivates each group to independently develop expertise and knowledge (in the field of experimental and specialist knowledge) and incorporate it in a self-invented storyline suitable for their classmates in an explanatory film. Similar to “conventional” pen-and-paper experimental documentation, EXPlainistry has a defined structure. ICT devices are merely a tool to consolidate and deepen the content learned. This form of a digital learning product is suggested to help students to learn or revise content while it also serves as an additional evaluation component and above all as a diagnostic aid for teachers. Furthermore, it comprises a change of roles within the classroom between teachers and students, besides keeping grading the learning outcome in focus, EXPlainistry is about students becoming instructors for their own classmates. The following paragraphs describe the didactical function of our method and demonstrate an example of how to include EXPlainistry in a chemistry class.

■ FUNCTIONS OF ICT IN CHEMICAL EDUCATION AND THE POWER OF INDIVIDUALIZATION

By way of designing individual learning support, ICT can have different operating modes, at the center of which are three main functions:^{8,9}

- As **learning tools**, ICT can methodically enrich the learning variety in chemistry lessons. This can range from simple information acquisition to the use of animations up to the creation of self-explanatory formats, such as EXPlainistry.
- As **experimental tools**, ICT help with experimentation in science education. This can range from simple data logging sensors to integrated high-speed or even thermal imaging cameras.
- As **learning companions**, ICT enrich learning beyond the formal classroom setting. They are always present, covering multiple subjects, not just chemistry and cross over into leisure time. This is especially important when combining formal, informal, and nonformal learning.¹⁰

If ICT is used for the method EXPlainistry, it can be classified as a Learning Tool used in the didactic model “learning by explaining”. The main focus of EXPlainistry is a descriptive video and simulation at the molecular level. The students are the authors and producers of EXPlainistry, which can be evaluated by the teacher as well as other students. In science education, it is recommended that explanation videos be used to describe the basis of visible, macroscopic, phenomena due to molecular, microscopic, properties. An example could be an introduction to the properties of organic

compounds.¹¹ In this context, it is important that visualization of phenomena at the microscopic level should stay at the molecular level and should not be mixed with the other corners of Johnstone’s triangle. Furthermore, the relevance of the problem plays an important role in EXPlainistry. For this reason, we consider Mahaffy’s theory to extend the Johnstone triangle by another corner to a tetrahedron.¹² This corner represents the human element. During the entire working phase of EXPlainistry, students should be aware of where they can find such phenomena in their environment. This aspect exactly describes Mahaffy’s additional human element.

An additional benefit is the possibility to animate or simulate the molecular level which is almost impossible to do on a static board in front of a class.¹³ For example, animations have positive effects on building up chemical basic concepts such as the donor–acceptor concept.¹⁴ For this reason, these types of visualization should be included in the process of learning in chemistry education. Self-created stop-motion clips are an easy way to implement these forms. Such videos can bring molecular events to life and convert static pictures into dynamic animations by taking single pictures and cutting them together as a short video. Thus, EXPlainistry combines the capability of a tablet to be used to document an experiment, with the visualization of the molecular level as described above. In the following paragraph, we will show how to create an EXPlainistry. Furthermore, we will describe the added value this method provides for chemistry education.

■ EXPLAINISTRY—EXPERIMENTS EXPLAINED IN CHEMISTRY

The thought process and the design of EXPlainistry require a new form of documentation of experiments in chemistry education. It is structured in three parts: First, the students shortly explain the relevance of the experiment and/or the underlying problem. Second, they document the experiment, and third, they add an explanation on a molecular level. To successfully achieve this, it is recommended that the students write a short storyboard about their EXPlainistry in order to structure their knowledge of the subject beforehand. A storyboard template is available to download as [Supporting Information](#).

Construction

Relevance. The relevance of a topic/phenomenon/problem for a student has an immense influence on their process of learning and understanding.¹⁵ It is important that each student discovers the dimensions of science education in daily life independently. This can be shown in a short (10–20 s) video clip that is presented at the beginning.

Experiment. This part of EXPlainistry includes the documentation of an experiment. In addition, it can include more than a standard pen and paper documentation. At first, the construction and performance of the experiment is documented not only with words but also with a short graphical depiction to bring the practical aspects of an experiment into focus. This could be with the help of pictures, supported by voice recordings by the students.

The recording of the full experiment has two different advantages. The real-time recording with the camera app correlates with the way students document their experiences in everyday life. Another advantage of using the camera app is that the recorded video can be used for repetition, zooming, slow-motion, or accelerating parts of the documentation. This

B

DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

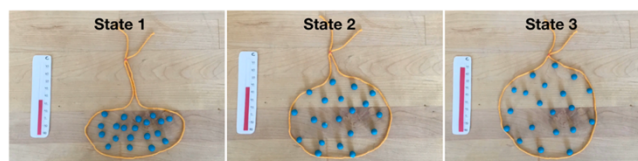


Figure 1. Three out of 85 frames of a student made StopMotion.

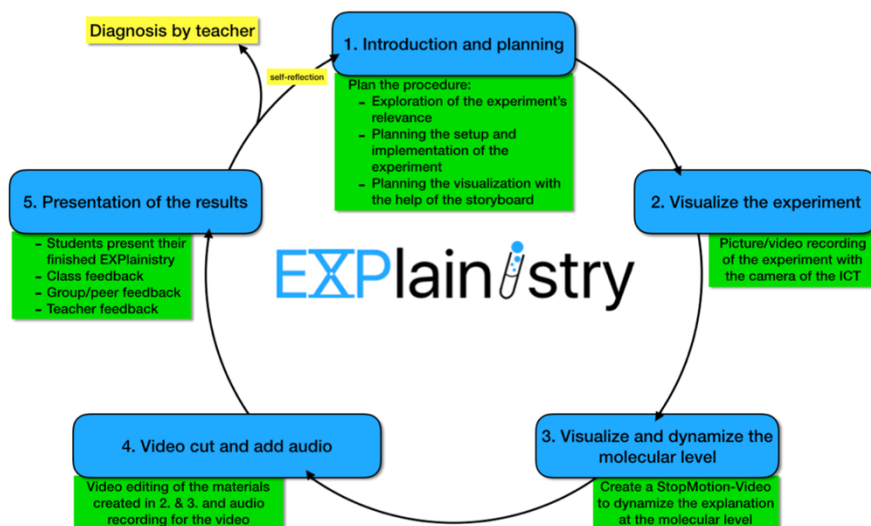


Figure 2. Procedure of the method EXPlainistry.

can help to reflect the experiences later in the lesson or while learning at home. Different camera applications can also help with the visualization of hidden parts of an experiment. Fast running experiments, such as an exploding balloon filled with hydrogen, can be easily shown in a slow-motion video, whereas slower reactions, such as the corrosion of a sacrificial anode, can be recorded by time-lapse photography.¹⁶

Explanation on Molecular Level. Bringing processes to life at the molecular level is the biggest added value of EXPlainistry, and ICT can help open new dimensions of animation and visualization.¹⁷ For example, chemical reactions always include dynamic processes, which may include electrons/proton transfer reactions or the visualization of an equilibrium system. All of these are part of a chemical reaction that is difficult to visualize on a standard board in class. Students can easily create these animations in a video sequence on their own.

This dynamic visualization can be made with the use of free apps such as Keynote for iOS or PowerPoint. There are also pay-for apps, such as “Explain Everything”, which run on iOS and Android devices that can also be used to create animations as an interactive board.

Another option for creating visualizations are self-made, stop-motion videos with the app “Stop-Motion”, that is available for iOS and Android. Stop-motion videos can be described like a self-made flick book. The students take single pictures, line them up and let them run in a certain frequency. When a stop-motion video is created to explain a chemical

reaction at the molecular level, three steps should be visualized (as shown in Figure 1):

- Step 1: The starting position prior to the reaction. In general, a single picture of the reactants is sufficient.
- Step 2: The progression of the chemical reaction on molecular level should be visualized step by step with 10–15 pictures.
- Step 3: The final state after the chemical reaction. Again, a single picture of the products is sufficient.

At this point, it is possible to give the learner free access to various particle representations. Thus, one can use either prefabricated elements or let the students become creative in the design of their own representations. This gives students the opportunity to reflect on the symbolic level by means of their own learning products. For a two-dimensional visualization, paper clips, colorful cardboard or even moss rubber plates may be used. For a (haptic) three-dimensional visualization, ready-made models built from molecular building blocks may be used or the students can build their own molecules. For example, a combination of toothpicks with kneaders or pulp balls is suitable for this purpose. Interestingly, the latter approach includes the possibility of reflecting different concepts of the reality of the appearance of particles (e.g., in case of the simple particle model in the initial teaching) or ideas concerning the repulsion between electrons (e.g., in case of the differentiated atom).

The explanation of the processes on the molecular level can be implemented on the one hand with embedded text fields

C

DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

and on the other hand with accompanying commentary. The latter is a good opportunity for the promotion and evaluation of communication competence, whereby the technical language used by the students is observed. To create stop motion videos, the free app "StopMotion (Studio)" is available for iOS and Android.

Place of Action: Chemistry Class

However, EXPlainistry is not intended to replace the traditional write up in chemistry teaching. Rather, it offers advantages both in the preparation and also in the consideration of the experiment. In our experience, the format is particularly appropriate when individual groups of students learn in different groups. Here, the possibility can be given to pursue your own interests, but still be able to present your individual results to fellow students. This format can not only be applied to student experiments, but also be useful for demonstrations and teacher experiments. In this case, the teacher performs the experiment then gives this video sequence to the students in order to let them create the first and third part of the EXPlainistry.

For the preparation of an EXPlainistry, a maximum group size of about 3 to 4 students has proven to be beneficial in our teaching observations, because all participants can be actively involved in the development process of the video and the actual experimentation. To prepare and create the videos, scheduling a session of approximately 2 h is advisable.

To learn the technical handling of the devices or apps, the format EXPlainistry, just like a classic protocol, should be introduced and practiced in a joint project. It has been proven useful to organize this phase as a competition among the students, by having them create an EXPlainistry to the same experiment. In this competition, a large number of visualization options are created, which are jointly evaluated afterward. In this introductory phase, however, the focus should be on a professionally clean and correct implementation of the three steps, especially on the visualization in the third, and less on a media fireworks, so that the format does not miss its professional-inimical purpose. Our experience has shown that students need less time to learn how to use the required apps than the first time to visualize them. In this respect, students should be given sufficient time to consider the advantages and disadvantages of various visualization options.

We experienced within the multiple use of this new method in different schools, that the first time EXPlainistry is included in chemistry class, students need a clear structure they can follow. Figure 2 shows the procedure of the method. Before the EXPlainistry format is performed independently by students, the separate sections should be discussed and practiced together step by step by students and teacher. Phase 1 describes the planning phase. It explores the relevance, implementation and explanation of the central experiment. This part is one of the most important sections as careful planning is a prerequisite. Once this first phase is completed, the actual experiment is visualized. This means that the students either experiment on their own or observe the teacher's demo experiment. No matter the form of presentation, the experiment should be recorded with the (tablet) camera and saved for later processing. In the third section, the explanation of the previously recorded experiment will be presented in an understandable way. By selecting a suitable model, students should visualize the explanation and dynamize it.

In the fourth part of the cycle, the videos created in phase 2 and 3 are now to be cut together to form a video. In addition to the technical content, further media skills are to be promoted. In addition to the video editing, an audio track will also be stored, so that students will not only have to visualize the experiment and the particle level, but also verbalize them. The video's audio serves two additional purposes: (1) students are required to reflect and find a creative way to present new subject matter in their own words; (2) it allows teachers to make an initial diagnosis and correct any misconceptions early on in the process, due to additional statements picked up by the recording device. In the last phase, each group individually presents its finished EXPlainistry to the class, which allows for immediate constructive feedback from the classmates as well as their teacher. This feedback initializes further processes. On the one hand, students are given the opportunity to reflect on their individual work and correct it if necessary. On the other hand, the videos give teachers a product on which a comprehensive diagnosis of the student's performance can be made.

EXPlainistry as a Diagnostic Tool

An important part of a teacher's work is the diagnosis of learning progress and misconceptions of students. This format provides teachers with a powerful tool for diagnosing misconceptions. For example, the students' videos can be used by the teacher to give differentiated help and correct individual misconceptions. In class, it is possible to use the method to diagnose learning states before a series/sequence of lessons in order to check the learning condition of the group.

The EXPlainistry can also be used after the end of a series to check and reflect the learning success. It is even more effective if a video is created by the students before and after the session, as this can lead to a comparison of individual learning success. On one hand this comparison can be used by the teacher for control purposes as well as for correction after the session. On the other hand, the students can observe and reflect on their own learning success.

EVALUATION OF THE EXPLAINISTRY

Over the past two years the method EXPlainistry was used and tested in different school and university classes and teacher workshops. With the help of interviews and questionnaires, we evaluated this format with students, student teachers, and teachers to measure their willingness to use this method in their classrooms and how their experience in the academic subject and their learning about and teaching with ICT has grown over time.

The method was presented to a total of 52 teachers, 24 student teachers, and 128 students. However, only teachers and student teachers were included in the evaluation. In our teacher workshops, particular attention was paid to the technical implementation, the didactic added value, and the diagnostic possibilities offered by EXPlainistry.

Figure 3 shows impressions from our teacher seminars. In two consecutive workshops, the method was first learned technically and then, in another unit, the added values, advantages, and disadvantages were discussed further. Within one semester, students had to create one to three EXPlainistry themselves and present them as project products at the end of the semester. All in all, a total of 76 teachers or prospective teachers were interviewed over a period of 2 years with the help of a questionnaire.

D

DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

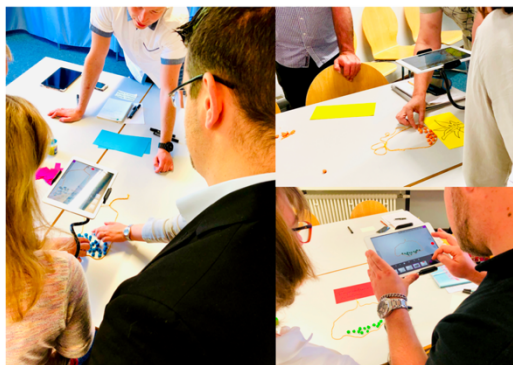


Figure 3. Impressions of teacher workshops.

With the help of this statistical evaluation, it can be said that the EXplainistry format has consistently received positive feedback from the participants in each item of Category 1, shown in Table 1. All averages from this category are between three and four, which means that the participants agree on average on each item of the given statements, up to absolute agreement.

About the same result as for category 1 can be observed for category 2 (see Table 2). All mean values here are between three and four, so that positive feedback can also be inferred from four out of five questions on one's own competence assessment. Item 2.2 asks about the state of knowledge regarding the creation of such a video and shows a slight negative tendency with an average value of 2.724. This can be traced back to a time component. The duration of the individual workshops was about 2 h, which were filled with a lot of input. Therefore, the technical practice of the method was short and leads to a slight uncertainty of the participants in their own implementation. This uncertainty, like any other new

method to be learned, can be remedied by practice, which for us is not a negative but a natural phenomenon.

In the context of the evaluation described above, the EXplainistry format was also tested with students. Five different classes from five different schools participated. The content introduction, as well as the technical aids, was carried out by our team while the present teacher was there to advise the students. Experience from this test phase has shown that all classes were highly motivated to complete their own videos. Further statistical studies will follow soon.

■ EXAMPLE OF AN EXPLAINISTRY. CHANGE OF STATES OF MATTER: EVAPORATE VS CONDENSATE

As already described above, many chemical reactions consist of dynamic processes. The example described in the following is based on the problem of representing dynamic processes on an analog board. The example describes the consideration of the aggregate states liquid and gaseous and also deals with the transition from one state to the other. Thematically, the simple particle concept is to be developed, and thus an explanation at the molecular level for the experiment is to be found.

- Part 1 (Relevance): Students discover the relevance of the circumstances as evaporation and condensation are everywhere around us. For evaporation and condensation, an example from daily life could be boiling water in the kitchen and condensation on the lid of the pot.
- Part 2 (Experiment): In an experiment performed by students themselves, 5 mL of acetone are placed in a freezer bag which is then sealed with as little air as possible. The bag is placed first in a pot with warm, then in a pot with cold water. It can be observed that it initially expands, and less liquid is visible in the bag. In the cold water it shrinks back to its original size. For control, the volume of the liquid can be measured after the experiment.
- Part 3 (Visualization on a molecular level): The students simulate the experiment on a particle level. For example,

Table 1. Comparative Survey Results for Category 1 on the Benefits and Use of EXplainistry

Statement Items for Response	Response Scores ^a by Item, %						Mean Scores (N = 52)	SD
	0	1	2	3	4	5		
1.1 The EXplainistry is a good format for documentation of experiments.	3.40	3.40	0.00	17.24	58.62	17.24	3.759	1.091
1.2 The EXplainistry is a good format for visualization.	3.40	0.00	0.00	10.34	62.07	24.14	4.000	0.964
1.3 EXplainistry adds value to my teaching.	6.90	3.40	3.45	27.59	51.72	6.90	3.345	1.233
1.4 I will use the EXplainistry format in my lessons in the future.	3.40	0.00	3.45	27.59	55.17	10.34	3.621	0.979
1.5 EXplainistry allows a higher student activity.	3.40	0.00	0.00	13.79	44.83	37.93	4.103	1.047
1.6 The EXplainistry allows an analysis of faulty model ideas.	3.40	0.00	0.00	27.59	58.62	10.34	3.690	0.930
1.7 The EXplainistry can help me as a teacher to diagnose difficulties in the practical execution of experiments.	6.90	3.40	3.45	27.59	51.72	6.90	3.345	1.233
1.8 The EXplainistry can help students to reflect on their own learning processes.	3.40	0.00	0.00	17.24	68.97	10.34	3.793	0.902
1.9 EXplainistry can help students who are otherwise quiet to participate in the lessons.	3.40	0.00	0.00	20.69	58.62	17.24	3.828	0.966
1.10 The use of EXplainistry makes it easier for students to understand the relevance of the topic they are dealing with.	3.40	0.00	13.79	44.83	34.48	3.45	3.172	0.966
1.11 The EXplainistry can be used for performance assessment.	3.40	0.00	3.45	24.14	48.28	20.69	3.759	1.057
1.12 The EXplainistry makes it possible to promote cognitive learning processes in the classroom.	3.40	0.00	0.00	10.34	86.21	0.00	3.759	0.786

^aA five-step interval scale was used: 1 = does not apply at all; 2 = does not apply; 3 = neutral; 4 = does apply; 5 = does apply entirely. Unanswered questions were scored as 0.

Table 2. Comparative Survey Results for Category 2 on the Participants' Perceived Competency in Using EXPLAINistry

Statement Items for Response	Response Scores ^a by Item, %						Mean Scores (N = 52)	SD
	0	1	2	3	4	5		
2.1 I am good at creating learning videos or animations for my lessons.	3.45	0.00	13.79	24.14	51.72	6.90	3.414	1.053
2.2 I know what to do if I want to explore science phenomena or processes in class using digital video analysis.	3.45	13.79	27.59	31.03	10.34	13.79	2.724	1.334
2.3 I can guide students through the creation process.	3.45	0.00	10.34	27.59	41.38	17.24	3.552	1.121
2.4 The use of EXPLAINistry in the classroom motivates me.	3.45	0.00	0.00	24.14	65.52	6.90	3.690	0.891
2.5 Through the use of EXPLAINistry, I am more privately involved with video editing.	3.45	3.45	6.90	24.14	58.62	3.45	3.414	1.053

^aA five-step interval scale was used: 1 = does not apply at all; 2 = does not apply; 3 = neutral; 4 = does apply; 5 = does apply entirely. Unanswered questions were scored as 0.

balls of clay can be used to simulate acetone particles. With the help of a StopMotion video, the particles can now be "brought to life". Individual static images, which only represent snapshots, are cut together and become a motion. Thus, the different physical properties, such as speed and distance of the particles, can be simulated during condensation and evaporation.

■ ADDED VALUE FOR LEARNING

For students as recipients, EXPLAINistry can perform similar functions as explanatory videos from the Internet.¹⁸ In addition, it offers the possibility to critically reflect on how the visualization of an experiment compares with the reality of performing an experiment in the laboratory.

For teachers, EXPLAINistry is a valuable diagnostic tool for recognizing inappropriate notions of the learner. For example, technical inaccuracies or errors in how the students have represented a chemical reaction at the molecular level can be directly diagnosed in class rather than retrospectively as is the case in traditional postclass marking with delayed feedback. Thus, the immediate playback and critical assessment of the videos made by the class to the same class is itself a learning opportunity.

To conclude, we suggest that the combination of ICT-based tasks—documentation, explanation, and visualization—included in EXPLAINistry can lead to better learning experiences and outcomes.

■ ASSOCIATED CONTENT

Supporting Information

The Supporting Information is available on the ACS Publications website at DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819.

Storyboard for EXPLAINistry (PDF)

■ AUTHOR INFORMATION

Corresponding Author

*E-mail: huwer@ph-weingarten.de.

ORCID

Johann Seibert: 0000-0002-5967-489X

Christopher W. M. Kay: 0000-0002-5200-6004

Notes

The authors declare no competing financial interest.

■ REFERENCES

- (1) Jordan, J.; Box, M.; Eguren, K.; Parker, T.; Saraldi-Gallardo, V.; Wolfe, M.; Gallardo-Williams, M. Effectiveness of Student-Generated

Video as a Teaching Tool for an Instrumental Technique in the Organic Chemistry Laboratory. *J. Chem. Educ.* **2016**, *93*, 141–145.

(2) Benedict, L.; Pence, H. Teaching Chemistry Using Student-Created Videos and Photo Blogs Accessed with Smartphones and Two-Dimensional Barcodes. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (4), 492–496.

(3) Jones, L. How Multimedia-Based Learning and Molecular Visualization Change the Landscape of Chemical Education Research. *J. Chem. Educ.* **2013**, *90*, 1571–1576.

(4) Johnstone, A. Macro- and Micro-Chemistry. *School Science Review* **1982**, *64*, 377–379.

(5) Stuckey, M.; Hofstein, A.; Mamlok-Naaman, R.; Eilks, I. The Meaning of "Relevance" in Science Education and Its Implications for the Science Curriculum. *Studies in Science Education* **2013**, *49*, 1–34.

(6) Kennah, M. R. The Use of ICT in the Teaching and Learning Process in Secondary Schools. Master's Thesis, Department of Education Institute of Educational Leadership University of Jyväskylä, 2016 <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/51929/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201611204685.pdf> (accessed Aug 15, 2019).

(7) Grzega, J.; Schöner, M. The Didactic Model LdL (Lernen durch Lehren) as a Way of Preparing Students for Communication in a Knowledge Society. *Journal of Education for Teaching* **2008**, *34* (3), 167–175.

(8) Huwer, J.; Bock, A.; Seibert, J. The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *American Journal of Educational Research* **2018**, *6* (6), 763–772.

(9) Huwer, J.; Seibert, J. A New Way To Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory. *World Journal of Chemical Education* **2018**, *6* (3), 124–128.

(10) Garner, N.; Siol, A.; Huwer, J.; Hempelmann, R.; Eilks, I. Implementing Innovations in Chemistry and Sustainability Education in a Non-Formal Student Laboratory Context. *LUMAT* **2016**, *3* (4), 449–461.

(11) Krause, M.; Eilks, I. Learning about the Nomenclature of Organic Compounds by Creating Stop-Motion Videos. *Chemistry in Action* **2017**, *109*, 36–38.

(12) Mahaffy, P. Moving Chemistry Education into 3D—A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *J. Chem. Educ.* **2006**, *83* (1), 49–55.

(13) Akaygun, S.; Jones, L. L. Animation or simulation: Investigating the importance of interactivity for learning solubility equilibria. In *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*; ACS Symposium Series Vol. 1142; Suits, J. P., Sanger, M. J., Eds.; American Chemical Society, 2013; pp 127–159.

(14) Herrington, D. G.; Sweeder, R. D.; Vanden-Plas, J. R. Students' Independent Use of Screencasts and Simulations to Construct Understanding of Solubility Concepts. *J. Sci. Educ. Technol.* **2017**, *24*, 1–13.

(15) Hugerat, M.; Mamlok-Naaman, R.; Eilks, I.; Hofstein, A. Professional Development of Chemistry Teachers for Relevant Chemistry Education. In *Relevant Chemistry Education—From Theory to Practice*; Eilks, I., Hofstein, A., Eds.; Sense: Rotterdam, Netherlands, 2015; pp 369–386.

F

DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00819
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

- (16) Vollmer, M.; Möllmann, K.-P. High Speed and Slow Motion: The Technology of Modern Highspeed Cameras. *Phys. Educ.* **2011**, *46*, 191.
- (17) Tasker, R.; Dalton, R. Visualization of the Molecular World Using Animations. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2006**, *7* (2), 141–159.
- (18) Kulgemeyer, C.; Peters, C. Exploring the Explaining Quality of Physics Online Explanatory Videos. *Eur. J. Phys.* **2016**, *37*, 1–14.

2.2. Augmented Reality als digitales Lernwerkzeug im Chemieunterricht

Augmented Reality als digitales Lernwerkzeug bietet viele neue Möglichkeiten für den Chemieunterricht (Lim & Habig, 2020). AR kombiniert als Technik reale mit virtuellen Objekten (Milgram, 1994) und ist interaktiv in Echtzeit. Diese Verknüpfung in allen drei Dimensionen führt dazu, dass reale und virtuelle Inhalte aneinander ausgerichtet werden. Aktuell gibt es eine Vielzahl an AR-Apps, die allerdings nur bedingt für den Chemieunterricht geeignet sind, da oft die Technik über den didaktischen Mehrwert gestellt wird. Kerres beschreibt 2005, dass es bei der Implementierung von AR Lehr-Lernszenarien die Berücksichtigung einer expliziten vollständigen Planung in einer didaktischen Medienkonzeption inklusive eines determinierten Interaktionsraums notwendig ist, da die Qualität des mediengestützten Lernens mehr von der Konzeption als von der Durchführung abhängt (Kerres, 2005). Entsprechend beschreiben Wu et al. (2013), dass der Wert der AR Lehr-Lern-Umgebung weniger von der Technik selbst, als vom Design und insbesondere der Implementierung abhängt (Wu et al., 2013). Um eine solche AR Lehr-Lern-Umgebung aus fachlicher, fachdidaktischer, fachmediendidaktischer und pädagogischer Sicht entwickeln zu können, wurde von Seibert et al. (2020) mit dem deAR-Modell ein entsprechendes Rahmenmodell entwickelt. Mit Hilfe dieses Modells soll eine multiperspektivistische Sicht bei der Implementierung von Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht helfen.

Augmented Reality aus fachdidaktischer Sicht

Augmented Reality bietet aus chemiedidaktischer Sicht in Abhängigkeit seiner Realisierung viele Vorteile. Relevante Themen können unter Berücksichtigung von Individualisierungsaspekten beispielsweise das (Forschende) Lernen beim Experimentieren unterstützen und zudem Teilchendarstellungen sowie deren Prozesse visualisieren. AR liefert zudem die Möglichkeit, zwei- und/oder dreidimensionale Inhalte in der realen Umgebung zu positionieren. Auf diese Weise können die Schüler*innen einen realen und praktischen Blick auf einen Gegenstand oder eine Situation erhalten, welche unter „analogen“ Umständen nicht beobachtbar wäre. Gleichzeitig können sie auch die technischen Möglichkeiten nutzen, um verschiedene Objekte, Prozesse oder Strukturen in der virtuell angereicherten Umgebung zu beobachten und diese Informationen für ein tieferes Verständnis direkt auf dem realen Objekt zu lokalisieren. AR bietet den Schüler*innen eine neue Perspektive, die viele bisher verborgene Details offenbart (Abdoli-Sejzi, 2015). Es kann den Lernprozess der Schüler*innen während des gesamten Chemieunterrichts unterstützen, indem es ihnen ermöglicht, ein Molekül oder einen

chemischen Prozess, wie z.B. den Fluss von Elektronen, zu visualisieren (Seibert et al., 2020). Die Verwendung einer AR kann auch dazu beitragen, die Lernenden zu motivieren und ihr Interesse zu wecken (Dickmann et al., 2019). Durch die interaktive Nutzung der AR wird ein chemischer Prozess für die Schüler*innen zugänglich und verständlich. Gemäss Radu (2014) hat die Verwendung einer solchen AR-Lernumgebung sowohl für den Lernenden als auch für den Lehrer viele Vorteile (Radu, 2014). AR bietet den Schüler*innen die Möglichkeit, die Struktur und Funktion zu erlernen und dadurch die dreidimensionale Vorstellungskraft zu trainieren.

Augmented Reality aus fachmediendidaktischer Sicht

Augmented Reality ist eine Technologie, die virtuelle Objekte in der realen Umgebung darstellt und die virtuellen Objekte interaktiv zugänglich macht (Azuma, 1997). Durch die Einbettung von Steuerelementen in AR-Lernumgebungen können diese interaktiv gestaltet werden, dabei können visuelle Mittel, wie Texte, Bilder, Animationen, 3D-Modelle und Simulationen, Audios (gesprochene Unterstützung) und audiovisuelle Inhalte (Videos, Animationen mit Ton) verwendet werden. Durch den Einsatz von AR sollen sowohl digitale als auch technische Fähigkeiten gefördert werden (GFD, 2018). Augmented Reality bietet eine Reihe fachmediendidaktische Vorteile für das Lernen im Chemieunterricht, beispielsweise durch die Einbettung von Hilfestellungen oder auch die Darstellung von nicht sichtbaren oder dynamischen Prozessen sowie die Förderung der räumlichen Darstellung von Molekülen oder der Bindungsbildung von Atomen zu Molekülen (Maier & Klinker, 2013; Strzys et al., 2018). Der Einsatz von Augmented Reality bietet außerdem die Möglichkeit, Aufgaben nach Puentedura (2006) zu verändern. In Bezug auf didaktische Funktionen digitaler Medien wird Augmented Reality als ein typisches Lernwerkzeug im Klassenzimmer definiert (Seibert, Kay & Huwer, 2019). Sie bereichert das Lernen in einer spezifischen Lernsituation an, indem sie kognitive Lernprozesse unterstützt. Augmented Reality ist ein leistungsfähiges Werkzeug, das in verschiedenen Lernsituationen eingesetzt werden kann. Ein mögliches Einsatzszenario ist die digitale Anreicherung analoger Arbeitsblätter um individuelle Hilfestellungen und Aufgaben (Seibert et al., 2020; Huwer et al., 2019; Seibert et al., 2019). In diesem Fall lernen die Schüler*innen mit analogen Arbeitsblättern und erhalten zusätzliche Aufgaben und Unterstützung durch "Scannen" mit einem digitalen Gerät. Die analogen Blätter liefern die Auslöser („Trigger“) zur Positionierung zusätzlicher Inhalte darüber. Dadurch können Schüler*innen einerseits lernzieldifferenziert unterrichtet werden und andererseits steht Unterstützung "on-demand" genau an der richtigen Stelle zur Verfügung, so dass ein

reduzierter Split-Attention-Effekt eintreten kann. Als Grundlage einer solchen triggerbasierten AR können auch insbesondere die verschiedenen Informations- und Warnsymbole in Labors genutzt werden, um den Schüler*innen zusätzliche Inhalte und Verhaltensregeln zu vermitteln. Darauf aufbauend haben Huwer und Seibert (2017) den AR-Laborführerschein entwickelt, wobei Schüler*innen innerhalb einer tablettenbasierten AR verschiedene Aspekte eines Chemielabors erkunden sollen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der schüler*innenzentrierten, forschungsbasierten Entdeckung, die einen pädagogischen und didaktischen Mehrwert bietet (Klopfer & Square, 2008; Huwer & Seibert, 2018). Augmented Reality kann auch dazu verwendet werden, Gamificationaspekte in den Unterricht zu integrieren. Ein Vertreter für eine solche Gamifizierung wäre das EscapeLab (Seibert et al., 2019). In diesem Fall wird das Labor durch Hinweissuche zum Durchführen der Experimente erforscht. Eine weitere Möglichkeit, AR im Chemieunterricht einzusetzen, ist die Augmentation von realen Objekten. In diesem Fall dient das jeweilige dreidimensionale Realobjekt als Auslöser und markiert die Position, an der virtuelle Inhalte platziert werden können (Seibert et al., 2020). Durch diese direkte Verbindung zwischen realen Objekten und interaktiven virtuellen Inhalten können die Schüler*innen individuell lernen und das reale Objekt anhand der präsentierten Materialien selbstständig erkunden. Ein weiteres Beispiel für die Verknüpfung von realen Situationen mit angereicherten virtuellen Inhalten wäre die Erweiterung einer Echtzeitdarstellung von Messdaten auf dem realen Versuchsaufbau (Strzys et al., 2018; Kapp et al., 2019). Dies kann auch genutzt werden, um eine Lernumgebung zu schaffen, die für den Lernenden unsichtbare Prozesse sichtbar macht oder zusätzliche Informationen zur Differenzierung dort bietet, wo diese benötigt werden (Seibert et al., 2020; Huwer et al., 2019).

Augmented Reality aus lernpsychologischer Sicht

Durch eine dynamische, flexible und vielfältige Darstellung von Inhalten kann mit Hilfe von AR die multikodierte Verankerung von Inhalten gefördert werden (Lim & Habig, 2020). Wird der Inhalt z.B. über verschiedene Darstellungskanäle präsentiert, kann auch die Kapazität des Vorwissens erhöht werden. Folglich liegt einer der Vorteile von Augmented Reality in der Möglichkeit, die vermittelten Inhalte durch verschiedene Darstellungsformen zu präsentieren. Durch die Möglichkeit, die Inhalte oder Darstellungsformen zusätzlich interaktiv zu gestalten, kann eine konstruktivistische Lernumgebung geschaffen werden, die die individuelle Aufnahme der Inhalte fördert und Rückmeldung gibt. Zu diesem Zweck werden die Prinzipien des Lernens

mit Multimedia betrachtet (Mayer, 2009). Aus der Kombination von Multimedia-, Kontiguitäts- und Modalitätsprinzipien kann die höchste Lerneffektivität durch eine visuelle, verbale und audio-visuelle Präsentation erreicht werden. Das Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit unterstützt den Ansatz der audio-visuellen Übertragung, da der Informationsinhalt auf mehrere Sinneskanäle aufgeteilt wird. Das Redundanz- und Kohärenzprinzip besagt hingegen, dass die Lerneffektivität reduziert werden kann, wenn bei der visuellen und verbalen Informationsübertragung letztere gleichzeitig schriftlich und akustisch erfolgt. Generell können alle dargebotenen, aber nicht inhaltlich relevanten Informationen die Lerneffektivität reduzieren (Bacca et al., 2014). Entsprechend dieser Prinzipien sollten daher Augmented Reality Lehr-Lernsettings konzipiert werden.

Ebenso interessant ist die Betrachtung von Selbstregulationsprozessen bei der Verwendung von Augmented Reality im Chemieunterricht. AR bietet die Möglichkeit, Informationen „on demand“ bereitzustellen. Dies bedeutet, dass die Schüler*innen diese Informationen je nach Befinden und Bedürfnissen in Form eines adaptierten Promptings abrufen können. Diese variable Nutzung kann zusätzlich dazu führen, dass ein individualisiertes und selbstgesteuertes Lernen ermöglicht wird. Besonders wichtig ist dieser Effekt bei der Implementierung von Individualisierungsaspekten, wie in den diesem Kapitel zugehörigen Publikationen zu lesen ist.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden verschiedene AR Lehr-Lernszenarien vorgestellt und unter Berücksichtigung von fachdidaktischen, fachmediendidaktischen und pädagogischen Aspekten diskutiert.

2.2.1. EscapeLab im Chemieunterricht: Gamification als Lernwerkzeug zur

Individualisierung

Lehrenden im Chemieunterricht kann es häufig schwerfallen, motivierende Lerninhalte für Schüler*innen bereitzustellen. Eine Möglichkeit die Motivation im Chemieunterricht zu fördern, bietet das Lernszenario „EscapeLab“. Hierbei handelt es sich um eine spielbasierte Lernumgebung, in der die Schüler*innen zur Aufgabe haben, die Welt vor einem bösartigen Virus zu bewahren. Insgesamt bearbeiten die Lernenden vier verschiedene Rätsel zu einem chemischen Inhalt. Im Zuge der Individualisierung werden den Schüler*innen digitale Hilfestellungen im Labor (in diesem Zusammenhang der Escape Room) zur Verfügung gestellt. Im Fokus steht allerdings das forschende Experimentieren, bei dem die Schüler*innen mit Hilfe von chemischem Fachwissen Experimente entwickeln müssen, um die Lösung für das Rätsel zu erhalten. Die Augmented Reality dient wie oben beschrieben als Lernwerkzeug zur individuellen Förderung sowie zur Steigerung der Motivation. Im Labor fest verankerte Symbole können mit Hilfe der Augmented Reality Anwendung gescannt werden, um entsprechende Hilfestellungen zum Experiment zu erhalten. Des weiteren helfen interaktive Schaltflächen dabei, Hinweise für die Lösung des Spiels zu erhalten. Durch die Einbindung von Augmented Reality Inhalten bei einem Lernszenario ergeben sich mehrere Vorteile für den Chemieunterricht. Wie bereits erwähnt, können Schüler*innen individuelle Hilfen „on demand“ erhalten, um so selbstreguliert entsprechende Fachinhalte erarbeiten zu können. Dadurch wird die betreuende Lehrkraft zum Lernbegleiter, der lediglich bei tiefergehenden Problemen Hilfestellungen in Form von Prompts geben kann. Bei der Evaluation dieses Lehr-Lernszenarios hat sich eine signifikante Steigerung der aktuellen Motivation sowie der Kognition im Vergleich zu einer rein analog unterstützenden Einheit gezeigt (vgl. Tabelle 1). Die entsprechende Analyse der erhobenen Werte wird in der nachfolgenden Publikation näher beschrieben.

Tabelle 1. Deskriptive Statistiken und Ergebnisse der Varianzanalysen.

abhängige Variable	t1 MW (SD)	t2 MW (SD)	F(df), p- Wert, Effektstärke Faktor Zeit	F(df), p- Wert, Effektstärke Interaktion Zeit x Gruppe		
	KG	EG	KG	EG		
Kognition – Wissen	3.11 (1.17)	2.14 (1.16)	4.19 (1.74)	4.08 (1.66)	100.91 (1, 82), p < .001, $\eta_p^2 = .55$	5.20 (1, 81), p < .05, $\eta_p^2 = .06^a$
Kognition – Verständnis	3.54 (1.53)	2.95 (1.08)	3.91 (1.93)	3.24 (1.25)	5.93 (1, 82), p < .05, $\eta_p^2 = .07$	F < 1 ^a
Interesse	4.62 (0.99)	4.52 (1.23)	4.22 (1.29)	4.39 (1.84)	3.32 (1, 82), p = .07, $\eta_p^2 = .04$	F < 1
Herausfor- derung	4.70 (1.10)	5.01 (1.47)	4.34 (1.24)	4.67 (1.32)	11.42 (1, 82), p < .01, $\eta_p^2 = .12$	F < 1
Erfolgswahr- scheinlichkeit	4.72 (1.05)	4.94 (1.14)	4.48 (1.41)	4.78 (1.58)	1.50 (1, 82), p = .22, $\eta_p^2 = .02$	F < 1
Misserfolgs- befürchtung	5.23 (1.20)	5.18 (1.39)	5.35 (1.27)	6.03 (1.18)	12.71 (1, 82), p < .01, $\eta_p^2 = .13$	7.16 (1, 82), p < .01, $\eta_p^2 = .08$

Anmerkung. MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, KG = Kontrollgruppe, EG = Experimentalgruppe. ^a Aufgrund von Vorherunterschieden wurde hier eine Kovarianzanalyse mit den Werten zu t2 als abhängige Variable und den Werten zu t1 als Kovariate berechnet.

Die Nachfolgende Publikation beschreibt den fachdidaktischen Aufbau der Lehr-Lernsituation.

Publikation B:

EsceLab im Chemieunterricht: Gamification als Lernwerkzeug zur Individualisierung

Johann Seibert¹, Laura Dörrenbächer-Ullrich², Vanessa Lang¹, Matthias Marquardt³, Franziska Perels², Christopher W. M. Kay¹

Eingereicht am 21. März 2019

Angenommen am 08. 06. 2019

Publiziert am August 2019

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Laura Dörrenbächer-Ullrich, Vanessa Lang, Matthias Marquardt, Franziska Perels, Christopher W. M. Kay, Computer und Unterricht, 2019, 115, 23-25.

Copyright © 2019, Friedrich Verlag.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation durchgeführt und ausgewertet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Universität des Saarlandes, Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

³Realschule plus Kell am See, Schulstraße 12, 54427 Kell am See



►► EscapeLab im Chemieunterricht

Gamification als Lernwerkzeug zur Individualisierung

Überblick

Klassenstufen: 7–10
Fächer: Chemie
Technische Ausstattung: ein Tablet pro Gruppe
Software: HP Reveal
Sonstige Materialien: stehen auf der Homepage zum Download bereit (s. S. 25)

Von Johann Seibert, Dr. Laura Dörrenbächer-Ullrich, Vanessa Lang, Matthias Marquardt, Prof. Dr. Franziska Perels und Prof. Dr. Christopher Kay

Aufgrund der zunehmenden Diversität an deutschen Schulen spielt die Förderung individueller Lernprozesse im Unterricht eine immer größere Rolle. Eine Möglichkeit, die individuellen Fähig- und Fertigkeiten jedes einzelnen Lernenden gewinnbringend im Unterricht zu nutzen, ist der sogenannte Gamification-Ansatz. In der im Folgenden dargestellten Methode wird das Tablet zum einen als Werkzeug zur Vermittlung von Information und zum anderen als digitaler Assistent beim Experimentieren verwendet. Dieser Artikel soll beispielhaft aufzeigen, wie SchülerInnen gezielt durch die spielerische Darbietung eines fachlichen Inhalts kognitiv sowie motivational gefördert werden können.

Gamification im Chemieunterricht

Unsere SchülerInnen sollen lernen und nicht spielen... Warum aber nicht beides verbinden? Gamification greift genau diesen Punkt auf. Unter Gamification versteht man nach Kapp „die Nutzung von spielerischer Mechanik, Ästhetik und Spieldenken, um Menschen und deren Handlung zu motivieren, das Lernen zu fördern und Probleme zu lösen“ (2012, S. 55). Der Grundgedanke dieses Ansatzes beinhaltet also nicht zwangsläufig den Einsatz digitaler Medien, allerdings können diese dabei helfen, das Gamification-Szenario mit authentischen und individualisierten Lernsettings anzureichern. Wie können digitale Medien das Lernen unterstützen und welche Rolle kann Gamification dabei spielen? Die Darstellung individueller Hilfen beim Experimentieren

ist bereits viel diskutiert und auf ihren Nutzen hin untersucht worden (Huwer et al., 2018). Hierbei kann anhand geschickt platzierter Overlays eine kognitive Belastung durch verteilte Aufmerksamkeit minimiert werden. Dabei dient die Augmented Reality-Anwendung als Werkzeug zur Darbietung individueller Hilfestellungen beim Experimentieren.

Soll die Motivation und das Wohlbefinden der Lernenden gesteigert werden, wird häufig die Selbstbestimmungstheorie nach Deci und Ryan (2000) als theoretische Grundlage herangezogen. Diese Theorie geht davon aus, dass die Motivation optimal ist, wenn die drei psychologischen Grundbedürfnisse – das Kompetenzerleben, das Autonomieerleben und die soziale Eingebundenheit – erfüllt sind. Aufgrund der hohen Selbstständigkeit und der Arbeit in Teams in Gamification-Szenarien werden das Autonomieerleben sowie die soziale Eingebundenheit gefördert. Die Rückmeldung durch digitale Medien kann darüber hinaus das Kompetenzerleben der Lernenden unterstützen. Eine so herbeigeführte hohe Motivation in Gamification-Lernumgebungen sollte sich somit auch positiv auf die Leistung der Lernenden auswirken.

Das EscapeLab

In Anlehnung an die vorangegangenen theoretischen Grundlagen galt es, eine Lernumgebung zu entwickeln, der SchülerInnen mit hoher Motivation gegenüberstehen. Zudem sollte eine anregende Atmosphäre vermittelt werden, in der Jugendliche aufmerksam

ihren Aufgaben nachgehen können. Hierfür wurde auf die Idee der sehr erfolgreichen Escape-Rooms zurückgegriffen: An etwa 260 Standorten innerhalb Deutschlands (Dibowski, 2019) begeistern sich immer mehr Menschen dafür, durch das Lösen kniffliger Rätsel aus einem geschlossenen Raum auszubrechen und ihre Freiheit zurückzuerlangen. Dabei muss kreativ im Team zusammengearbeitet werden, um innerhalb einer vorgegebenen Zeit den Ausbruch zu schaffen. Diese wachsende Begeisterung war die Kernidee, ein solches Szenario zum Lernen zu verwenden. Das Grundkonzept sieht dabei so aus, dass SchülerInnen komplexe Rätsel mithilfe chemischer Experimente lösen und dadurch die Zahlenkombination für einen Tresor herausfinden. Die Versuche umfassen die Bereiche Fingerabdruck- und Blutnachweise, Indikatoren, Chromatographie und Faseranalytik (vgl. Abb. 1). Ein Video, das den SchülerInnen vorab präsentiert wird, leitet die eigentliche Forschungsarbeit ein. Inhaltlich geht es um folgendes Szenario:

Die Menschheit steht vor dem Abgrund. Der Obliviscatur-Virus ist ausgebrochen. Er ist hochansteckend, sodass die Hälfte der Menschheit bereits betroffen ist. Das Virus lässt die Menschen alles vergessen, was sie jemals gelernt oder auch nicht gelernt haben. Einem kleinen Forscherkreis der Universität des Saarlandes ist es gelungen, ein Antiserum zu entwickeln, das den Virus bekämpft und die Menschen heilt. Um den Prototypen dieses Serums vor der Habgier mancher Menschen zu schützen, versteckten die

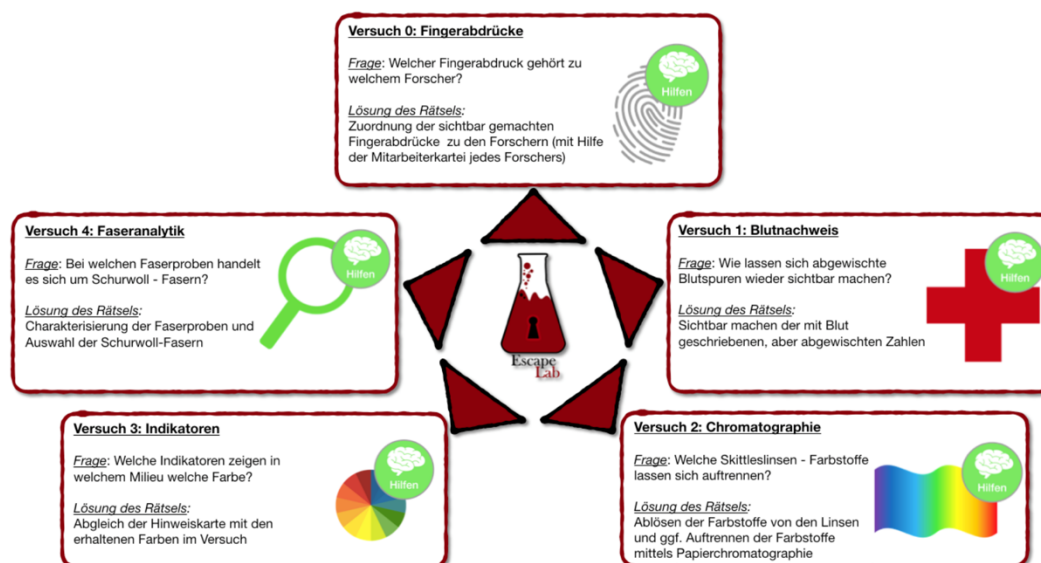


Abb. 1: Fachchemischer Inhalt des EscapeLabs

vier Wissenschaftler ihn gemeinsam mit der Formel zur Herstellung in einer Box, die mit einem Zahlenschloss verriegelt ist. Zur Sicherheit überlegte sich jeder der Wissenschaftler genau eine Zahl der Kombination. Leider infizierte sich auch das gesamte Forscherteam mit dem Virus und vergaß dadurch alles, was zur Herstellung des Antiserums wichtig ist und die Kombination des Zahlenschlosses ebenfalls. Ihr seid nun unsere einzige Hoffnung. Findet die Kombination für

das Zahlenschloss heraus und rettet die Menschheit! Euch bleiben dazu noch wenige Stunden, bevor zu viele Menschen infiziert sind, um den Fortbestand der Menschheit zu sichern.

Inmitten dieses übergeordneten Kontextes sollen die SchülerInnen nun mit Hilfe von fünf Chemierätseln den Zahlencode herausfinden. Die Grundlage jedes Rätsels ist ein spezifischer, chemischer Lerninhalt. Durch dieses dem Escape-Room ähnliche Szenario werden die SchülerInnen dazu aufgefordert, Rätsel schnellstmöglich in Kleingruppen zu lösen. Verschiedene AR-Trigger-Symbole am Experimentierplatz und im Labor unterstützen das Escape-Room-Szenario (vgl. Abb. 2). Neben der motivationssteigernden Wirkung der Augmented Reality-Anwendung soll besonders im Rahmen der individuellen Förderung das selbst-regulierte Lernen der SchülerInnen gefördert werden. Durch eine klar strukturierte Darstellung der Hilfe-Overlays können sich die SchülerInnen, je nach Schwierigkeit bzw. Interesse, Informationen beschaffen. Wie in Abb. 3 zu sehen, sind alle Overlays gleich angeordnet. Zu jedem Experiment erhalten die SchülerInnen jeweils vier Auswahlmöglichkeiten und es stehen Experimental-, Verständnis-, Sprach- und

Gerätehilfen zur Verfügung, die bei Bedarf direkt am Arbeitsplatz abgerufen werden können. Diese Overlays sind immer oberhalb des Icons in der gleichen Reihenfolge positioniert. Ziel einer solchen gezielten Materialentwicklung war es, im Sinne der „Cognitive Load Theory of Multimedia Learning“ (kurz: CTML, s. Mayer, 2015) eine möglichst geringe kognitive Belastung durch individuelle Hilfen („Hilfekarten-Flut“) zu erzeugen. Die SchülerInnen erhalten neben fertigen Experimentalfilms zur Versuchsdurchführung Verständnishilfen in Form von Videos, Bildern und/oder Texten, fach- bzw. muttersprachliche Hilfen sowie Gerätehilfen in Form von Bildern. Zusätzlich werden den SchülerInnen ergänzend zur reinen Informationsdarbietung weitere inhaltliche Übungen wie Lückentexte, Zuordnungsaufgaben oder andere Serious Games angeboten. Hierbei wurde die Plattform www.learningapps.org verwendet, um selbst erstellte Übungen mit der Augmented Reality zu verbinden.

Statistische Evaluation – Methode und Instrumente

Zur Evaluation des EscapeLabs nahmen $n=84$ SchülerInnen der 8.–10. Klassenstufe an der Untersuchung teil (49,5% weiblich). Davon besuchten $n=47$



Abb. 2: Einsatz der Augmented Reality (AR) im EscapeLab



Abb.3: Aufbau und Nutzung der Hilfe-Trigger durch Augmented Reality

SchülerInnen das EscapeLab ohne Augmented Reality-Elemente (Kontrollgruppe), $n=37$ SchülerInnen konnten während des EscapeLabs Tablets nutzen, um so von Augmented Reality-Hilfe- und Hinweistriggern zu profitieren (Experimentalgruppe). Um die Auswirkungen des EscapeLab-Besuchs auf die kognitiven und motivationalen Merkmale der SchülerInnen zu untersuchen, wurden diese mithilfe von Fragebögen in einem Prä-Post-Kontrollgruppen-Design erfasst (s. Anm.). Da für die beiden kognitiven Merkmale signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen zum Messzeitpunkt t1 gefunden wurden, führte man für die abhängigen Variable „Wissen“ und „Verständnis“ eine Kovarianzanalyse zum Messzeitpunkt t2 unter Kontrolle der Werte von t1 durch. Für die motivationalen abhängigen Variablen wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich für alle Variablen (mit Ausnahme der Motivationskategorien „Interesse“ und „Erfolgswahrscheinlichkeit“) eine signifikante Zunahme in beiden Gruppen von t1 zu t2 zeigt. Für die abhängigen Variablen „Wissen“ zeigt sich eine stärkere Zunahme, bzw. für die „Misserfolgsbefürchtung“ eine stärkere Abnahme von t1 zu t2 in der Experimentalgruppe.

Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Prä-Post-Kontrollgruppenuntersuchung dieses Ansatzes deuten auf die Wirksamkeit des EscapeLabs bezüglich des (Lern-)Zuwachses sowohl kognitiver als auch motivationaler Aspekte hin, insbesondere, wenn mit Augmented Reality-Inhalten gear-

beitet wurde. Sowohl das Wissen als auch das Verständnis der SchülerInnen und verschiedene Aspekte ihrer Motivation konnten durch den Besuch des EscapeLabs und das Bearbeiten der Aufgaben gesteigert werden. Bezüglich des Wissensaspektes und der Misserfolgsbefürchtung deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Unterstützung mittels Tablets und Augmented Reality-Elementen zu noch stärkeren Zunahmen führt. Die Ergebnisse legen nahe, dass Augmented Reality-Elemente das Erlernen chemischer Inhalte durch die Visualisierung des Lernstoffs unterstützen. Der positive Effekt auf die Misserfolgsbefürchtung kann i. S. der Selbstbestimmungstheorie durch das höhere Autonomieerleben im Umgang mit Tablets erklärt werden.

Alle Augmentationen wurden mit dem Programm HP Reveal® erstellt und sind dort kostenlos verfügbar. Alle Materialien stehen zum Download unter <https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-didaktik/downloads> bereit. Dort finden Sie alle benötigten Trigger, das Einführungs-video, eine Packliste der benötigten Materialien pro Experimentalgruppe, Erklärvideos, die den Umgang und Inhalt der Augmented Reality-Materialien zeigen, sowie eine detaillierte Vorbereitungsliste zur Durchführung.

Anmerkung

- (1) Die kognitiven Merkmale wurden erfasst über einen Test mit den Kategorien „Wissen“ und „Verständnis“, die motivationalen Merkmale über den FAM, den Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen (Rheinberg, F.; Vollmeyer, R.; Burns, B., Potsdam, 2001).

Literatur

- ▶ Dibowski, S. (2019): <https://www.familienbande24.de/wohin/kategorie/Escape+Room/> [Letzter Zugriff: 05.03.2019]
- ▶ Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dörrenbacher-Ullrich, L., Perels, F. (2018): Re-Experiencing chemistry with Augmented Reality: New possibilities for individual support. *World Journal of Chemical Education*, 6(5), S. 212–217.
- ▶ Huwer, J.; Seibert, J. (2017): EXPlainistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, S. 42–46.
- ▶ Kapp, K. M. (2012): The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.
- ▶ Mayer, R. E. (2005): Cognitive theory of multimedia learning. In: R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge UP, S. 31–48.
- ▶ Ryan, R. M.; Deci, E. L. (2000): Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), S. 68.
- ▶ Trautmann, M.; Wischer, B. (2007): Individuell fördern im Unterricht. Was wissen wir über innere Differenzierung? *Pädagogik*, 59(12), S. 44–48.

Johann Seibert und Matthias Marquardt sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Vanessa Lang ist studentische Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie an der Universität des Saarlandes; Prof. Dr. Christopher W. M. Kay ist Inhaber des Lehrstuhls.

Dr. Laura Dörrenbacher-Ullrich ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Bildungswissenschaften im Bereich Empirische Schul- und Unterrichtsforschung an der Universität des Saarlandes; Prof. Dr. Franziska Perels ist Inhaberin des Lehrstuhls.

johann.seibert@uni-saarland.de

2.2.2.Potential für „mehr Tiefe“ - Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht

Im Zusammenhang mit der Förderung individuellen Lernens und gleichzeitiger Steigerung motivationaler Aspekte durch AR im Chemieunterricht steht ein enormes Potenzial für ein tieferes fachliches Verständnis. Wie in Abschnitt 2.1.4 beschrieben, wurden entsprechende individuelle Hilfestellungen kategorisiert und symbolisiert. Diese Symbole können entsprechend auf analogen Versuchsanleitungen virtuell angeboten werden, sodass an entsprechenden Stellen die Hilfen wieder „on demand“ abgerufen werden können. Die Schüler*innen bearbeiten lediglich ein analoges Arbeitsblatt, welches mit Hilfe der Augmented Reality mit digitalen Inhalten angereichert wird. Hierbei soll es zu einer variablen Nutzung der Differenzierungsaufgaben kommen und die entsprechenden Hinweise (Verständnis, Experiment, Sprache und Geräte) nach Bedarf abgerufen werden. Durch diese realitätserweiternde Lösung kommen verschiedene lernpsychologische Vorteile zum Vorschein. Einerseits müssen nur notwendige Informationen den Schüler*innen bereitgestellt werden und die ergänzenden Hilfestellungen können je nach Bedarf an passender Stelle individuelle flexibel abgerufen werden. Somit wird ein Split-Attention Effekt vermieden und vielmehr eine Overlay-Attention erzeugt. Diese wiederum sehr schüler*innenzentrierte Lehr-Lernsituation verändert wiederum die Rolle der Lehrperson. Durch das damit einhergehende Individualisierungspotential wird die Lehrperson eher zum Lernbegleiter und erhält somit die Möglichkeit, sich intensiver mit einzelnen Schüler*innen bzw. Gruppen auseinander zu setzen. Auch aus Sicht der Selbstregulation kann dieses Potential gewinnbringend eingesetzt werden. Genau wie im Abschnitt zuvor beschrieben, führt die variable Nutzung der Hilfestellungen und Differenzierungsaufgaben zu einer in größerem Maße selbstgesteuerten Auseinandersetzung mit dem Lernstoff, wodurch entsprechende Selbstregulationsprozesse gefördert werden können.

Die Nachfolgende Publikation beschreibt den fachdidaktischen Aufbau der Lehr-Lernsituation.

Publikation C:

Potential für „mehr Tiefe“ - Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht

Johann Seibert¹, Matthias Marquardt², Isabel Schmoll³, Johannes Huwer⁴

Eingereicht im Februar 2019

Angenommen im April 2019

Publiziert im Mai 2019

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Matthias Marquardt, Isabel Schmoll, Johannes Huwer, Computer und Unterricht, 2019, 114, 32-34.

Copyright © 2019, Friedrich Verlag.

Eigener Anteil am Manuskript:

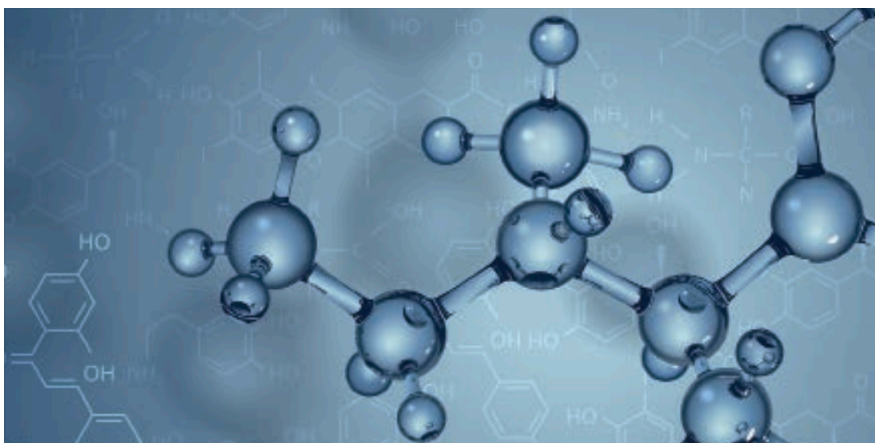
- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode und Material entwickelt

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Realschule plus Kell am See, Schulstraße 12, 54427 Kell am See

³Albertus-Magnus-Realschule, Auf der Meß 16, 66386 St. Ingbert

⁴Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften



►► Potential für „mehr Tiefe“

Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht

Überblick

Klassenstufen: 10-13

Fächer: Chemie

Technische Ausstattung: Tablet (iOS, Android, Windows)

Software: HP Reveal oder ähnliche Apps

Sonstige Materialien: Ausgedruckte Versuchsanleitung

Von Johann Seibert, Matthias Marquardt, Isabel Schmoll und Prof. Dr. Johannes Huwer

Die Digitalisierung bietet für den Naturwissenschaftsunterricht verschiedene Möglichkeiten, das naturwissenschaftliche Lernen zu fördern. Allen Naturwissenschaften ist das Experimentieren als zentrale Methode der Erkenntnisgewinnung gemeinsam. Genau an dieser Stelle setzen die von uns entwickelten interaktiven Versuchsanleitungen an, die **Multitouch Experiment Instructions (MEI)**, die vor allem durch den Einsatz von Augmen-

ted Reality profitieren (Huwer/Seibert, 2018). Besonders komplexere Themenfelder lassen sich durch die Darstellung dynamischer Prozesse mittels Augmented Reality besser nachvollziehen. Gerade Experimentalanleitungen kann so mehr Tiefe verliehen werden.

MEI als Teil des Multitouch Learning Books

Durch den Einsatz digitaler Medien können im naturwissenschaftlichen

Unterricht Mehrwerte generiert werden, die jedoch maßgeblich von deren Einsatz abhängen. Man unterteilt digitale Medien nach ihrer didaktischen Funktion als Lernbegleiter, Lernwerkzeug und Experimentalwerkzeug (Huwer/Brünken, 2018). Die in diesem Beitrag beschriebenen digitalen Medien fallen hierbei unter die Kategorie der digitalen Lernbegleiter. Diese bereichern das Lernen an verschiedenen Lernorten an, verknüpfen diese und

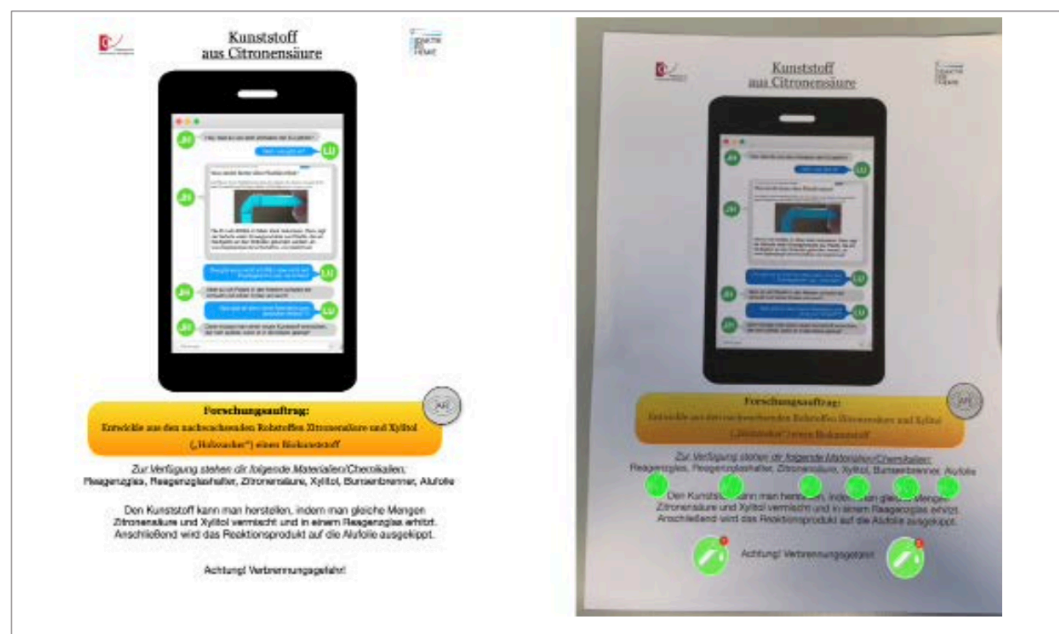


Abb. 1: Links das erste Versuchsblatt mit dem einführenden Chat, rechts die augmentierte Ansicht

© Titelbild: Yevhen Tarnavsky/Shutterstock.com; alle weiteren Abbildungen: © Johannes Huwer

begleiten den Lernprozess über einen längeren Zeitraum. Bekannte Vertreter digitaler Lernbegleiter sind die sogenannten Multitouch Learning Books (kurz: MLB), welche mit verschiedenen digitalen/interaktiven Tools angereichert sind (Huwer/Bock/Seibert, 2018, Ulrich/Schanze, 2015). Ein Multitouch Learning Book besteht, wie von Huwer, Seibert & Brünken (2018) dargestellt, aus verschiedenen kleineren „Modulen“, die auch einzeln eingesetzt werden können. Ein solches Modul kann eine interaktive, medial angereicherte Experimentalanleitung sein, eine sogenannte **Multitouch Experiment Instruction** (kurz: MEI).

Technisch gibt es verschiedene Formen von Multitouch Experiment Instructions. Zum einen kann die Anleitung komplett digital sein, zum anderen eine Kombination aus analoger Versuchsanleitung, welche mit Augmented Reality digital angereichert wird (Huwer et al., 2018). Beide Varianten haben spezifische Vorteile, die je nach Situation eingesetzt werden können. Die komplett digitale Variante lässt sich leichter in ein Multitouch Learning Book integrieren und dient dabei vor allem zur Dokumentation des Lernprozesses. Die Augmented Reality – Variante hat den Vorteil, dass sie Informationen „on Demand“ liefern und „Split-Attention“ Effekte verringern kann. Bei beiden Varianten können auch zusätzlich kleine Widgets, z. B. als Lernerfolgskontrolle, oder auch Visualisierungen eingebunden werden, welche bearbeitet werden können. Im Folgenden wollen wir die AR-Variante näher betrachten.

Aufbau der augmentierten Versuchsanleitung

Anhand einer aktuellen Thematik aus der Nachhaltigkeitsbildung – der Problematik über die Vermeidung von Plastikmüll und alternativen Materialien – sollen die Schülerinnen und Schüler selbst einen Biokunststoff herstellen. Neben dem relevanten Kontext für die Schülerinnen und Schüler steht das Experiment selbst sowie die Erklärung auf Teilchenebene im Vordergrund der Unterrichtsstunde.

Die augmentierte Versuchsanleitung besteht aus zwei Blättern. Auf dem ersten Blatt erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Chat zwischen zwei Freunden als Einstieg in die Stunde (siehe Abb. 1).

Darunter befinden sich der Forschungsauftrag sowie die benötigten Informationen für die Schülerinnen

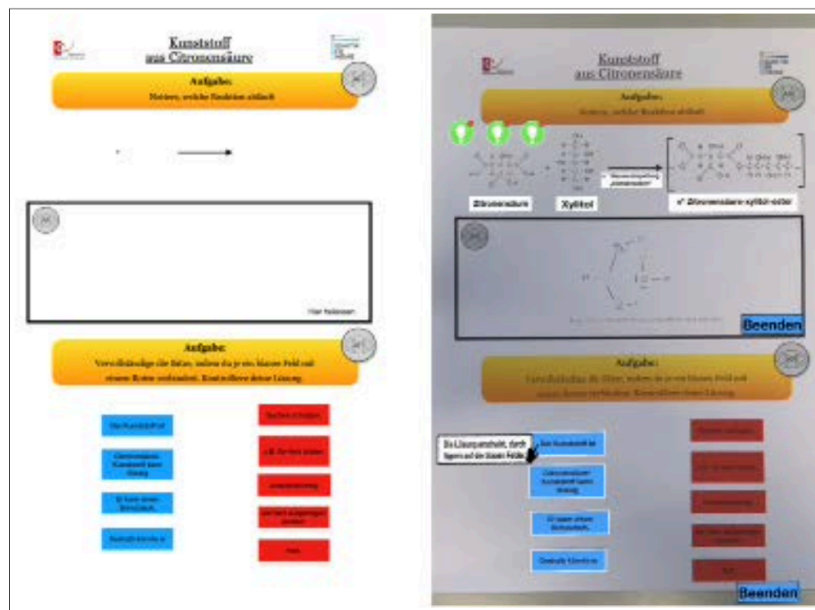


Abb. 2: Links das zweite Arbeitsblatt inklusive Übung, rechts dasselbe Arbeitsblatt augmentiert mit einem animierten Reaktionsmechanismus als Overlay

und Schüler. Durch das Scannen des Blattes werden interaktive Overlays über die Anleitung projiziert. Hierbei handelt es sich um Geräte-, Experimentier- und Verständnishilfen. Durch Anklicken der einzelnen Buttons werden die benötigten Geräte sowie Experimentalfideos auf die Versuchsanleitung augmentiert.

Auf dem zweiten Blatt der Versuchsanleitung (siehe Abb. 2) tragen die Schülerinnen und Schüler die Reaktionsgleichung für das Experimente ein und bearbeiten eine Übung. Sollten die Schülerinnen und Schüler hier Probleme bei der Reaktionsgleichung (Wort- und/oder Strukturformel) haben, so können sie sich die Moleküle sowie die Begriffe als Hilfe, aber auch als Korrektur, auf ihr Arbeitsblatt augmentieren. In Abhängigkeit von der kognitiven Verarbeitungstiefe, kann der animierte Reaktionsmechanismus ebenfalls über die AR auf dem Blatt angezeigt werden. Hierbei zeigt sich ein enormer Vorteil gegenüber alternativen Methoden. Das Video wurde hier ohne Hintergrund in die AR eingebettet, sodass die Animation „auf dem Blatt“ abläuft. Hierdurch kann eine besonders gute Overlay-Attention erzeugt werden und wirkt der kognitionspsychologisch anspruchsvolleren Split-Attention entgegen (vgl. Cognitive Load

Theory of Multimedia Learning CLTML, Mayer, 2009).

Die Bedienung der Materialien beruht ebenfalls auf intuitiven menschlichen Prozessen. Die Geste „Zeig mit dem Finger auf das Problem“ entspricht genau der Handlungsgeste, die das Programm vom Bediener verlangt. Durch Antippen der bewusst markanten und eindeutig gewählten Icons können sogar für die einzelnen Schülerinnen und Schüler individualisierte Hilfestellungen auf die Versuchsanleitung augmentiert werden.

Vorteile und Mehrwert

Die augmentierte Variante besitzt wie auch eine rein digitale Variante als ebook für die Lehrkraft den Vorteil, dass Hilfen, Aufgaben und Visualisierungen gut organisiert werden können. Für eine Augmentierung ist allerdings eine Internetverbindung notwendig. Der Test im praktischen Einsatz hat gezeigt, dass die AR-Variante ihre Vorteile vor allem bei komplexeren Themenfeldern dann ausspielt, wenn es um das Nachvollziehen von dynamischen Prozessen geht (z. B. Reaktionsmechanismus) und gleichzeitig dazu Aufgaben bearbeitet werden sollen. Es profitiert also der kognitive Prozess bei der Auswertung.

Allgemein kann man viele verschiedene Hilfestellungen an den entspre-

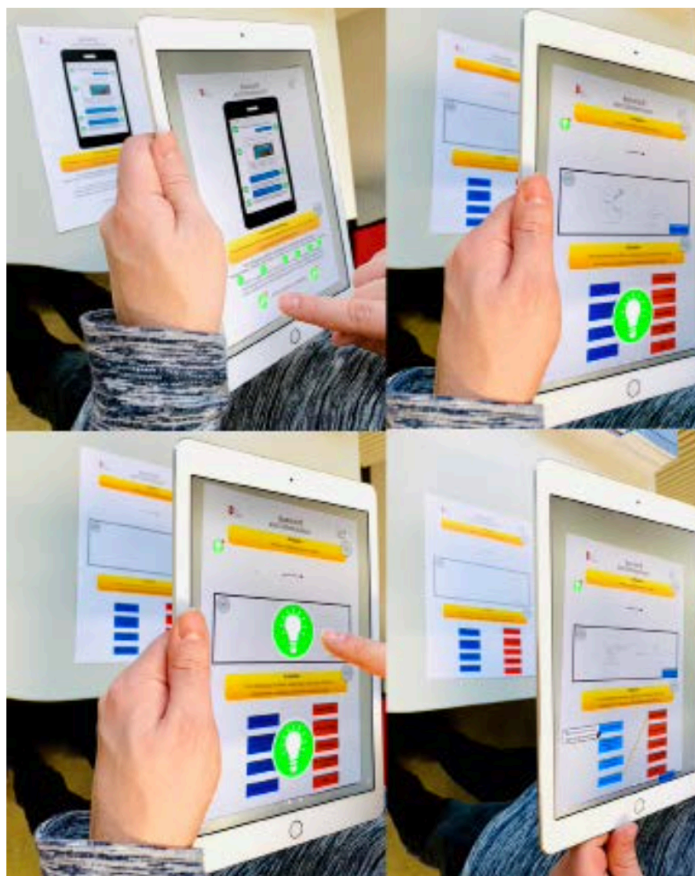


Abb. 3: Die Glühbirne zeigt an, dass hier augmentierte Inhalte abgerufen werden können: die Anzeige der Formel, die Lösung der Übung und der animierte Reaktionsmechanismus.

chenden Stellen anbieten, ohne dass die Schülerinnen und Schüler die passende Hilfe (z. B. Hilfekarten) erst suchen müssen („Information on Demand“). Die Schülerinnen und Schüler haben ein einziges Blatt; die Hilfen bekommen sie – wenn das Blatt vom Tablet erkannt wurde – auf Wunsch an den passenden Stellen angezeigt. Eine festgelegte einprägsame Symbolik sorgt dafür, dass Schülerinnen und Schüler, die z. B. sprachliche Hilfestellungen brauchen, diese auch gezielt auswählen können. Ein weiterer Vorteil der MEI ist, dass dynamische Inhalte auf der Versuchsanleitung auch dynamisch dargestellt werden können, während man bislang auf eine Bildsequenz zurückgreifen musste.

Fazit

Wir konnten damit zeigen, welche Möglichkeiten es gibt, mithilfe

von Augmented Reality Experimentalanleitungen „mehr Tiefe“ zu verleihen, um somit das naturwissenschaftliche Lernen anzureichern. Außerhalb der Experimentalanleitung sehen wir großes Potenzial darin, auch den experimentellen Prozess selbst zu augmentieren.

Eine Video-Präsentation der Anwendung finden Sie unter <https://www.fr-v.de/531114> oder dem nachstehenden QR-Code.



Literatur

- (1) Huwer, Johannes; Lauer, Luisa et al. (2018): Re-Experiencing Chemistry with Augmented Reality: New Possibilities for Individual Support. *World Journal of Chemical Education*, 6 (5), S. 212–217. doi: 10.12691/wjce-6-5-2
- (2) Huwer, Johannes; Eilks, Ingo (2017): Multitouch Learning Books beim forschenden Experimentieren. In: Meßinger-Koppelt, Jenny; Schanze, Sascha; Groß, Jorge (Hrsg.): Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer, S. 81–94, Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- (3) Huwer, Johannes; Seibert, Johann; Brünken, Roland (2018): Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 3, S. 181–186.
- (4) Huwer, Johannes; Bock, Annika; Seibert, Johann (2018): The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *American Journal of Educational Research*, 6 (6), S. 763–772. doi:10.12691/education-6-6-27
- (5) Huwer, Johannes; Brünken, Roland (2018): Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. *Computer + Unterricht*, 110, S. 7–10.
- (6) Huwer, Johannes; Seibert, Johann (2018): A new way to discover the chemistry laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License *World Journal of Chemical Education*, 6(3), S. 124–128. doi:DOI: 10.12691/wjce-6-3-4
- (7) Mayer, Richard E. (2009): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- (8) Ulrich, Nina; Schanze, Sascha (2015): Das eChemBook – Einblicke in ein digitales Chemiebuch. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 26 (145), S. 44–47.

Prof. Dr. Johannes Huwer ist Professor für Chemie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Weingarten. Isabel Schmoll ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe von Prof. Huwer.

Johann Seibert und Matthias Marquardt sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie der Universität des Saarlandes

huwer@ph-weingarten.de

LINKS:

- www.chemie.ph-weingarten.de
Die oben beschriebenen Materialien stehen unter diesem Download zur Verfügung.

2.2.3. Neue Wege das Chemielabor zu erkunden: Der Augmented Reality

Laborführerschein

Der Chemiesaal bzw. das Chemielabor bietet als Raum selbst eine gute Umgebung, um insbesondere im Anfangsunterricht über den Chemieunterricht als „neuer“ Unterricht im Vergleich zu anderen Fächern zu lernen. Beim Lernen im Chemiesaal müssen zunächst wichtige Regeln mit den Schüler*innen festgelegt werden, die didaktisch eingebettet in einem sog. Laborführerschein umgesetzt werden können. Dieses Unterrichtsszenario als solches beschreibt rein durch seine Methodik ein sehr schüler*innenzentriertes Format, welches durch das „Erkunden“ des Labors durchgeführt werden kann. Durch die Anreicherung dieser Lerneinheit mit Augmented Reality können im Speziellen Warn- und Sicherheitssymbole dazu verwendet werden, um die Besonderheiten eines Chemielabors kennenzulernen und zu verinnerlichen. Der Augmented Reality Laborführerschein beschreibt somit eine Methode, bei der die Schüler*innen sich selbst mit einem Tablet auf den Weg durch das Labor machen, um entsprechende Fachinhalte zu erkunden. Begleitend bearbeiten die Schüler*innen ein Arbeitsblatt, das entsprechende Prompts liefert, wodurch sich die Lernenden mit entsprechenden Symbolen auseinandersetzen müssen. Augmented Reality liefert in diesem Zusammenhang das Potential, verborgene, nicht direkt ersichtliche Informationen an entsprechender Stelle zu positionieren, um den gewünschten Fachinhalt zu erlernen. Somit wird das Lernwerkzeug zum digitalen interaktiven Laborassistent, der den Lernprozess innerhalb dieser Unterrichtssequenz unterstützt. Die Lehrkraft selbst begleitet ebenso das Lernen und hat somit ebenfalls eine veränderte Rolle inne. Durch die direkte Verortung der entsprechenden Informationen über einem gescannten Symbol im Labor wird wiederum einer der großen lernpsychologischen Vorteile von Augmented Reality ausgespielt. Somit kommt es auch bei diesem Lehr-Lernszenario zu einer Minimierung des Split-Attention Effekts und es wird erneut eine Overlay-Attention erzeugt.

Publikation D:

A New Way to Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License

Johannes Huwer¹, Johann Seibert² (Johann Seibert as equally contributing first author)

Eingereicht am 20. Mai 2018

Angenommen am 06. Juni 2018

Publiziert am 09. Juni 2018

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johannes Huwer, Johann Seibert, World Journal of Chemical Education, 2018, 6 (3), 124-128.

Copyright © 2019, Science and Education Publishing.

DOI: 10.12691/wjce-6-3-4

Eigener Anteil am Manuskript:

- Schreiben des Manuskripts
- Methode und Material entwickelt

¹Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

²Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

A New Way to Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License

Johannes Huwer*, Johann Seibert

Didactic of Chemistry and Schülerlabor Nano Bio Lab, University of Saarland, Saarbrücken, Germany

*Corresponding author: j.huwer@mx.uni-saarland.de

Abstract Augmented Reality is a good way to enrich and expand not only the environment but also the students' learning. When students come to a chemical laboratory for the first time, it is important to internalize the special rules and regulations. For this reason, we have linked these two components and developed an Augmented Reality Laboratory License. The students should internalize the laboratory and its rules with the help of a rally. The students set off in the laboratory and discover the various symbols and rules with the help of augmented symbols. The standard symbols, such as safety symbols, warning symbols and hazard symbols, were used to provide augmented assistance at the various stations of the rally.

Keywords: general public, middle school science, high-school, graduate education, research, collaborative/cooperative learning, computer-based learning, self-instruction, inquiry-based/discovery learning, multimedia-based learning, misconceptions/discrepant events, school book, augmented reality, informative and cooperative technology, ICT

Cite This Article: Johannes Huwer, and Johann Seibert, "A New Way to Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License." *World Journal of Chemical Education*, vol. 6, no. 3 (2018): 124-128. doi: 10.12691/wjce-6-3-4.

1. Introduction

Since Pokémon Go, everyone has been talking about Augmented Reality. This technology is becoming increasingly important in our everyday digital lives. The question now arises as to why we do not simply take advantage of this expansion of reality in chemistry lessons. The following article will show an example of how to use Augmented Reality in a laboratory. The pupils will discover the laboratory by a Rallye and solve different exercises. The Augmented Reality will help them to get more information about rules and various symbols in the laboratory.

2. Augmented Reality in Chemistry Education and Schülerlabor

The use of digital media in educational institutions should always aim to enable pupils to use digital media responsibly in the sense of "competences in the digital world" [1]. This should give every pupil the opportunity to actively participate in the technological change and thus to be able to participate in society [2]. It should always be noted that the use of digital media is reflected and adapted to the respective learning group and learning situation. When used appropriately, digital media can support the learning process of students through self-directed, cooperative learning environments [3]. The use of tablets in teaching and learning situations is increasing all the time. Compared to permanently installed computers, the

strength of tablets lies in their handy size, the interactive touch interface and wireless use [4]. Tablets have great potential in science education, especially in chemistry, as they have three didactic functions: As a learning tool, ICT enrich the cognitive learning process in the concrete learning situation and as experimental tool, ICT expand the possibilities for experimenting themselves by enabling learners to actively explore or document their surroundings with the technical sensors of the device, such as the camera or the microphone [5]. Furthermore, as learning companion, ICT can enrich learning beyond the specific learning situation or lesson and over a longer period by "accompanying" all learning processes [6,7].

Those three didactic functions of ICT build a base for two other levels, visualized in Figure 1. This methodical implementation represents the various operating modes away from the status quo (blue circle, Figure 1): **Conservation** of the prevailing culture, **Augmentation** of existing methods by innovative approaches using ICT, the **modification** of student tasks that characterize the essential design of the assignment, **Redefinitions** in that various apps allow tasks that were previously not possible, such as the creation of short video clips using an EXplainistry. In our case we present a redefined method of how to build up pupil's knowledge about the rules and symbols in a chemistry laboratory [8].

The various degrees of individualization are represented in the outermost circle. In our following example the augmented laboratory license can help for individualization at least on the school level. The symbols and the exercise are created for a special laboratory that includes the used symbols.

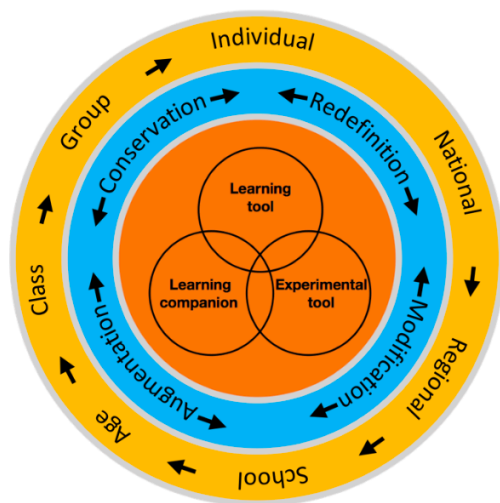


Figure 1. Model of Individualization and didactical functions of ICT in school [8]

Some national and international studies on the use of tablets in chemistry lessons provide evidence that this has a positive influence on the motivation, attention and independence of learners [9]. With Augmented Reality technology, the user's real environment is superimposed with digitally generated information in the form of virtual overlays. This allows the viewer to observe both real and virtual content at the same time. The use of Augmented Reality on ICT is done by corresponding apps, which use their own development environments (e.g. Apple ARKit). In this case, the camera of the tablet serves as a sensor to capture the real environment. This creates an image of the environment on the tablet's screen, which is enriched with digital content by the AR app. Due to the free accessibility and wide availability on mobile devices, such as tablets, this technology is also becoming increasingly interesting for the education sector. It offers the possibility to create interactive and individualized learning environments. A particular strength of this technique in chemistry lessons lies in the visualization of non-visible or non-observable phenomena, such as processes at the particle level. Through the simultaneous optical presence of the real environment (chemical experiment) and the virtual AR content (visualized explanation of chemical processes), the learning process of the students can be specifically supported [10,11].

3. The Augmented Reality Laboratory-License

The following materials have been developed to familiarize students with these laboratory rules on a first visit to the laboratory. Particular attention was paid to the safety symbols available in the laboratory and their meaning. Through this type of task, students will explore the lab in more detail using the Augmented

Reality technology for a whole new experience. To do that, they use the App "HP Reveal" on their digital devices. This App uses the camera of the mobile devices to scan a "trigger" – a symbol which starts the digital augmented information. In our case, we used the symbols which are already placed in the laboratory.

These will usually provide the augmented background information in order to be able to answer the analog task. Figure 3 is showing the exercise sheet the pupils will get and should answer during discovering the laboratory and its rules.



Figure 2. Concept of using AR with an iPad

The first task is to explore the meaning of various safety symbols. In order to learn the various laboratory rules, such as wearing lab coats and protective gowns, tying hair together, wearing long trousers and shoes, and the correct handling of hazardous substances, the "No Access for unauthorized persons" symbol should first be augmented by the app (see Figure 4).

By touching on the info-button, a short video will be played, which briefly summarizes the laboratory rules. If necessary, this video can be played several times and thus the first task can be solved.


An important symbol, which the students also know from their everyday life, is the symbol of the fire extinguisher. The aim of the next task is therefore to find out which different fire extinguishers are available and more important how to operate them correctly. For this reason, Augmented Reality offers the choice between two integrated videos (see Figure 5), which on the one hand present the different fire extinguishers and on the other hand discuss the procedure in case of a fire.


DIAGNOSTIK DER CHEMIE


Augmented Reality - Lab license


In a laboratory there are special rules that have to be observed. The symbols in the laboratory can help you to find out these rules. Explore the lab and fill in the following questions. Scan the icons in the AR-Browser app with your laptop for more information.

Exercise 1: Various symbols are already placed in front of the laboratory. Describe their meaning.









Exercise 2: Fire extinguishers are installed in every forest (all) and in every laboratory. Note the different types of fire extinguishers and for which fire they are suitable.


Which fire extinguishers are available here in the laboratory?


Describe the procedure for extinguishing a fire.


NanoBioLab


Exercise 3: In the event of fire, the laboratory must be exited immediately through the emergency exit. Describe the path you have to walk to the collection point and which symbols will help you find it.

Exercise 4: Chemicals must be labeled with various GHS (hazard) symbols. Examine the various chemicals for multi-faced symbols and describe them.









Exercise 5: In case of contamination of the whole body or parts of the body (e.g. eyes or skin), various first aid measures can be taken. Describe three different possibilities.

Figure 3. Exercise Sheet for the laboratory license



Figure 4. Warning symbol without (l.) and with (r.) Augmented Reality



Figure 5. Extinguisher Symbol without (l.) and with (r.) Augmented Reality

Good safety training in the laboratory also requires knowledge of how to act in an emergency. This includes first aid measures such as eye and body showers.

These two types of showers are available in every standard laboratory and therefore it should be addressed. It would also offer you to at least let the students try the eye shower to get a feel for it. In Figure 6 and Figure 7, the corresponding symbols are augmented and contain important information for use. The task of the students is to find out how such a shower can be used in an emergency.

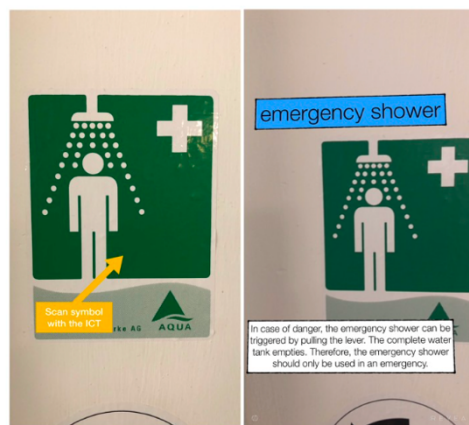


Figure 6. Emergency Shower without (l.) and with (r.) Augmented Reality

The sign from the next task is also one of those that the students know from their everyday lives. The emergency exit should be found in the event of an emergency and it is also important to be able to find your way to the common meeting point. The next task of the students is to describe the escape route to the meeting point with their own words.



Figure 7. Eye Shower Symbol without (l.) and with (r.) Augmented Reality

In the normal non-augmented environment, it is difficult or impossible to find the way without knowledge. For students it is really difficult to understand the printed emergency plans, so we decided to use AR-technology to promote a faster understanding. We use the emergency door symbol and enriched it with a video showing a footpath to the vanishing point. In this way, the path can be reflected and internalized and called up in an emergency.



Figure 8. Fire Exit Symbol without (l.) and with (r.) Augmented Reality



Figure 9. GHS Symbols without (l.) and with (r.) Augmented Reality

In the chemical laboratory, the handling of chemicals is completely natural. For this reason, a final task is to get to know and describe the various hazard symbols of chemicals. For this purpose, we augmented the new GHS symbols by adding the corresponding designation and a detailed description of the symbol as an overlay.

4. Conclusion

In summary, we have had consistently positive experiences with this Technology. Usually, laboratory and safety rules are not very interesting learning contents compared to exciting experiments. But with the Augmented Reality Technology we are able to create a whole new experience in exploring rules and the laboratory itself. We tried out the AR-Learning environment together with fifth graders and also with students and continuously optimized them. We observed, that the students totally forgot, that they are learning "rules", they were motivated in independently exploring the laboratory with a "second pair of eyes".

All in all, it can therefore be said that by enriching the real laboratory driving license with digital materials directly in the real world, a method has been found, that makes it possible to "reexplore" the chemical laboratory and also erase the motivation for science.

Additional Material

All necessary materials are available for download on our website www.medienkompetenz-unterricht.de. There you will find all worksheets and information on how you can try out the presented materials in your laboratory and also create them yourself. In addition there are two short videos available that present the described material.

References

- [1] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (KMK) (2016). Kompetenzen in der digitalen Welt.
- [2] Petko, D. (2014). Einführung in die Mediendidaktik – Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Weinheim/ Basel: Beltz.
- [3] Hense, J., Mandl, H. & Gräsel, C. (2001). Problemorientiertes Lernen – Warum der Unterricht mehr sein muss als Unterricht mit neuen Medien. *Computer und Unterricht*, 44, 6-11.
- [4] Krause, M. & Eilks, I. (2014). Tablet-Computer als Unterrichtswerkzeug für Lehrkräfte – Allgemeine Hinweise und Beispiele aus dem Chemieunterricht. In: J. Maxton-Küchenmeister & J. Messinger-Koppelt (Hg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*, Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag, 64-69.
- [5] Bresges, A., Beckmann, R. Schmook, J., Quast, A. Schunke-Gallay, J. Weber, J., Firmenich, D. (2014). Tablets beim physikalischen Experimentieren – zur Unterstützung des Kompetenzaufbaus. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 63(5), 11-17.
- [6] Huwer, J., & Brünken, R. (2018 – im Druck). Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. *Computer + Unterricht*, 109.
- [7] Huwer, J., & Seibert, J. (2017). EXPlainistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 44-48.
- [8] Huwer, J., Seibert, J. & Bock, A. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *American Journal of Educational Research*, 6(6), 763-772.

- [9] Wu, H.-K., Lee, S.W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. Hamburg 2017.
- [10] Aufenanger, S. (2017). Zum Stand der Forschung zum Tableteinsatz in Schule und Unterricht aus nationaler und internationaler Sicht. In: J. BASTIAN & S. AUFENANGER (Hg.): *Tablets in Schule und Unterricht – Forschungsmethoden und –perspektiven zum Einsatz digitaler Medien*, Wiesbaden: Springer VS, 119-138.
- [11] Thyssen, C. (2017): Augmented Reality (AR) in der naturwissenschaftlichen Unterrichtspraxis. In: Groß J., Schanze S., Messinger-Koppelt J. (Hrsg.): *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Joachim Herz Stiftung Verlag,

2.2.4.Reale und digitale Inhalte verknüpfen: Den Aufbau des Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen

Abschließend soll in diesem Kapitel die Möglichkeit aufgezeigt werden, wie Augmented Reality durch die Augmentation dreidimensionaler Inhalte das Lernen aus fach-, fachmediendidaktischer und pädagogischer Sicht anreichern kann. In den Abschnitten 3.2.1, 3.2.2 und 3.2.3 wurden lediglich zweidimensionale Overlays (virtuelle Inhalte) innerhalb der AR implementiert. In dem nachfolgenden Beispiel wird gezeigt, wie die Augmentation eines dreidimensionalen Overlays die Modellvorstellung bei Schüler*innen im Chemieunterricht fördert. Aus fachdidaktischer Sicht muss in diesem Fall der Fachinhalt entsprechende Anreicherung zulassen und Möglichkeiten dafür bieten. Augmented Reality kann durch seine Interaktion zwischen realer und virtueller Umgebung „nicht-sichtbare“ Prozesse sichtbar machen, wo sich ein Anknüpfungspunkt für sogenannte Blackbox-Experimente bietet, die durch AR virtuell geöffnet werden und den Schüler*innen zugänglich gemacht werden können. Hierzu wurde die Lerneinheit zum Thema Lithium-Ionen-Akku entwickelt, bei der der Akku genau eine solche Blackbox darstellt. Auf Grund der Gefährlichkeit ist es unmöglich, das reale Objekt zu öffnen und „einfach mal zu schauen, was da so drin ist“. Augmented Reality dient hier als virtuelles Werkzeug, diesen Prozess zu ermöglichen und das Innere des Akkus sichtbar zu machen. Bei der Öffnung der Blackbox auf rein makroskopischer Ebene werden entsprechende Bauteile und Komponenten angeschaut und in ihrer Funktion thematisiert. Zur Erklärung der Funktionsweise ist allerdings nach Johnstone (2007) die Betrachtung der submikroskopischen und symbolischen Ebene unumgänglich. Auch hier unterstützt die entwickelte Augmented Reality Anwendung diesen Lernprozess. Durch die Implementierung verschiedener Ebenen können die Schüler*innen unterschiedliche Darstellungen auswählen und entsprechend ihre Sicht verändern. Durch diese Interaktion mit dem Realobjekt ermöglicht Augmented Reality neue Potentiale mit dreidimensionalen Prozessen im Chemieunterricht umzugehen. Aus lernpsychologischer Sicht bringt diese Methode den Vorteil mit sich, dass der Fokus auf dem selbstgesteuerten Erkunden des Akkus in verschiedenen Ebenen liegt und die Schüler*innen ihren Lernweg selbst steuern, was wiederum Grundlage zur Aus- und Weiterbildung der Modellvorstellung bildet.

Publikation E:

Reale und digitale Inhalte verknüpfen: Den Aufbau des Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen

Johann Seibert¹, Michelle Gebhard¹, Matthias Marquardt², Christopher W.M. Kay¹, Johannes Huwer³

Eingereicht am Februar 2020

Angenommen am Mai 2020

Publiziert am Juni 2020

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Michelle Gebhard, Matthias Marquardt, Christopher W.M. Kay, Johannes Huwer, Unterricht Chemie, 2020, 177/178, 86-91.

Copyright © 2020, Friedrich Verlag.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Schreiben des Manuskripts
- Methode und Material mitentwickelt

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

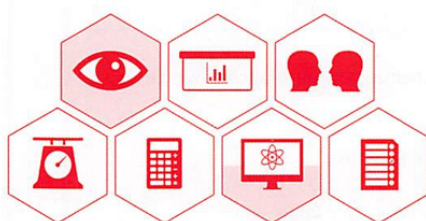
²Realschule plus Kell am See, Schulstraße 12, 54427 Kell am See

³Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Johann Seibert, Matthias Marquardt, Michelle Gebhard, Christopher W. M. Kay und Johannes Huwer

Reale und digitale Inhalte verknüpfen

Den Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen



In diesem Beitrag wird ein digitales Werkzeug für den Chemieunterricht vorgestellt, welches sich zur Visualisierung der Teilchenebene (submikroskopischen Ebene) und der damit bewussten Trennung zur makroskopischen Ebene einsetzen lässt. Hierzu dient das Tablet als Visualisierungsinstrument, mit dem die Teilchenebene in Form einer Augmented Reality-Lernumgebung (inklusive Modellen) über dem Realobjekt eines Lithium-Ionen-Akkus beobachtet werden kann.

Worum geht es im Lernarrangement?

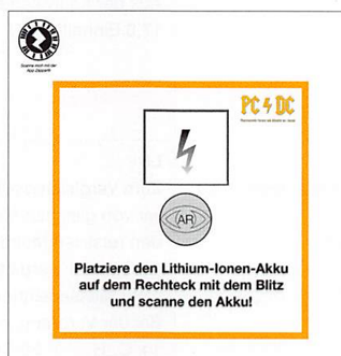
Augmented Reality (AR) ist eine relativ neue Technologie, welche digitale Informationen mithilfe von AR-Brillen, Smartphones oder Tablets orts- oder objektbasiert in die Realität einblendet [1]. Bislang findet AR im Chemieunterricht seltener Anwendung, obwohl gerade die Koexistenz von virtuellen und realen Objekten diverse Möglichkeiten für die Unterrichtspraxis bietet. Die Methode kann über drei Charakteristika von anderen Technologien abgegrenzt werden [2]:

- Verknüpfung digitaler und realer Inhalte,
- Echtzeitinteraktivität,

– Verknüpfung im dreidimensionalen Raum.

Die Verknüpfung digitaler Informationen mit Realobjekten kann auf verschiedenste Weise realisiert werden: Für die Unterstützung beim forschenden Experimentieren oder im Fachunterricht selbst bieten sich das 2D- sowie 3D-basierte Triggern an. Auf dessen Basis können Experimente bzw. deren Aufbau mit spezifischen Informationen versehen werden. Die-

ser Inhalt kann aus statischen Bildern, Texten, Animationen oder Videos bestehen. Augmented Reality bietet damit die Möglichkeit, das Experiment um die submikroskopische Ebene zu erweitern. Dies kann vor allem da helfen, wo sich Blackboxen aufgrund technischer und/oder sicherheitsrelevanter Gründe nicht „öffnen“ lassen. Am Beispiel des Lithium-Ionen-Akkus wird gezeigt, wie AR dabei helfen kann, diese „Blackbox“ zu öffnen.



1 | Trigger-Bild, um Zugang zur Augmented Reality-Lernumgebung zu erhalten

Inhaltliche Voraussetzungen

Der Aufbau sowie die Funktionsweise eines Lithium-Ionen-Akkus stellt den thematischen Kontext des beschriebenen Lehr-Lern-Settings dar. So sollte den Lernenden vor dem Einsatz der Materialien der Redoxbegriff auf Elektronenebene sowie das Aufstellen einfacher Redoxgleichungen bekannt sein. In den vorausgehenden Stunden könnte beispielsweise die Funktionsweise verschiedener Batterietypen besprochen werden,

Internet	erforderlich für alle Lernenden zum Abrufen der Materialien
Geräte	Tablet oder Smartphone
Plattform	iOS oder Android
Apps	<p>Zappar (kostenlos für iOS & Android) <u>für Android</u> https://play.google.com/store/apps/details?id=com.zappar.Zappar&hl=de</p> <p><u>für iOS</u> https://apps.apple.com/de/app/zappar/id429885268</p>

Tab. 1 | Ausstattungsvoraussetzungen für den Einsatz dieser Augmented Reality

© <https://www.zappar.com/>

sodass die grundlegenden Inhalte einer Galvanischen Zelle und auch der Elektrolyse als bekannt vorausgesetzt werden können.

Technische Vorbereitungen

Zur Vorbereitung auf den Einsatz von Augmented Reality im Unterricht sind nur wenige Schritte erforderlich. Den Lernenden müssen lediglich das Trigger-Bild (s. **Abb. 1**) inklusive eines Lithium-Ionen-Akkus¹⁾ und ein mobiles Endgerät mit der App Zappar zur Verfügung gestellt werden. Die hier vorgestellten Materialien wurden mithilfe von ZapWorks Studio erstellt. Dazu ist ein kostenpflichtiger Account bei ZapWorks erforderlich. Bei Zapworks handelt es sich um eine Plattform, welche mithilfe von vorgefertigten Programmcodes die Programmierung dreidimensionaler Augmented Reality-Materialien ermöglicht. Die in den Materialien verwendeten 3D-Objekte wurden mit dem kostenlosen Programm Blender modelliert. Durch die benutzerfreundliche Oberfläche sowie die Vorprogrammierung einzelner Szenarien ist es auch für Anfänger relativ einfach, eigene Materialien zu „programmieren“. Den größten Vorteil, den wir in der Anwendung dieses Programms sehen, ist das kostenlose Abrufen von Materialien über die kostenlose App Zappar von jedem mobilen Endgerät aus, sodass keine gesonderten Accounts für die Lernenden erforderlich sind (vgl. **Tab. 1**). Über einen eindeutigen Zapcode werden die AR-Informationen heruntergeladen und auf das hinterlegte Tracking Image augmentiert.

Durchführung

Ablauf des Lernsettings

Die Materialien wurden entwickelt, um Schülerinnen und Schülern eine Hilfe zur bewussten Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene sowie der Symbolebene bereitzustellen [3]. Ziel ist, dass es durch die Darbietung der AR-Materialien zu einer klaren Trennung



2 | Startbildschirm nach der Augmentation des Lithium-Ionen-Akkumulators zur Auswahl der Darstellungsebenen



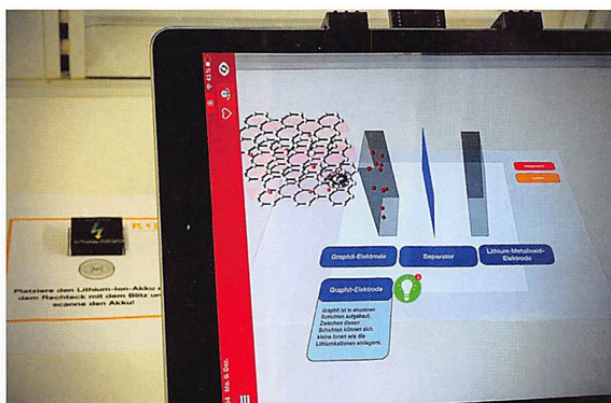
3 | Forschungsauftrag 1 – Erkundung der Makroebene

in der Erarbeitung der unterschiedlichen Darstellungsebenen kommt (s. **Abb. 2**). Hierfür erhalten die Schülerinnen und Schüler ein Arbeitsblatt mit vorerst drei Teilaufgaben (**Forschungsauftrag 1**). In jeder Aufgabe soll genau eine der drei Darstellungsebenen gefördert werden. Zwei weitere Aufgaben können zur Förderung der vierten erweiterten Darstellungsform, dem „Human Element“ nach Mahaffi [4], eingesetzt werden. In **Forschungsauftrag 2** sollen die Schülerinnen und Schüler selbst einen Lithium-Ionen-Akku herstellen. Die Unterrichtssequenz wird mit dem **Forschungsauftrag 3** abgeschlossen. Hierbei sollen die Schülerinnen und Schüler die Auswirkungen des Akkus auf die Umwelt recherchieren und in der Gruppe über Vor- und Nachteile diskutieren.

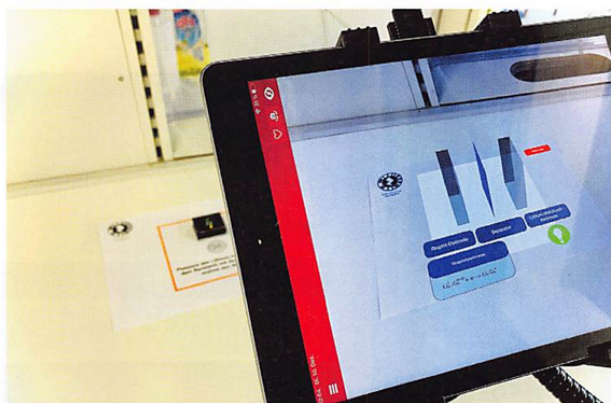
Visualisierung der Makroebene

Die virtuelle Visualisierung der Makroebene klingt im ersten Moment etwas suspekt, allerdings hat die Augmented Reality in diesem Fall ihre Begründung. Auf jedem gängigen Lithium-Ionen-Akku steht in der Regel „Do not open!“. Aber was können wir tun, um tatsächlich einmal in einen solchen Akku hineinzuschauen und die Bestandteile zu erkunden? Hierfür bietet sich die virtuelle Darstellung der Bestandteile mittels AR am Realobjekt an, sodass ein direkter Bezug zur Realität hergestellt werden kann. In einer ersten Teilaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler den Akku virtuell öffnen und die Begriffe der Bestandteile in der bereitgestellten Skizze ergänzen (s. **Abb. 3**). Durch das Scannen des realen Akkus mit dem Tablet erhalten die Schülerinnen

4 | Forschungsauftrag 1 – Erkundung der Teilchenebene mithilfe der Augmented Reality



5 | Forschungsauftrag 1 – Erkundung der Symbolebene mithilfe von Augmented Reality



und Schüler Informationen über die einzelnen Bausteine. Hierfür können sie durch einfaches Antippen der Elemente den Akku in seine Einzelteile zerlegen. Neben dieser Information werden weitere Hinweise in Form von Sprach- und Wissenstipps den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt.

Visualisierung der Mikroebene und Übertragung auf die Symbolebene

Das zentrale Element dieser AR-Materialien ist die Möglichkeit der Visualisierung und des Begreifbarmachens der Teilchenebene mittels Tablet. Über einen Button in der Lernumgebung können die Schülerinnen und Schüler die Teilchenebene aufrufen. Dadurch kommt es zu einem bewussten Wechsel von der makroskopischen in die mikroskopische Ebene, wodurch es zu einem verbesserten

Verständnis bzw. zu einer verbesserten Vorstellung auf Teilchenebene kommen kann. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass dieser Wechsel nicht zu einer Entwicklung von Fehlkonzepten führt. Zu Beginn der Stunde muss thematisiert werden, dass es für uns Menschen unmöglich ist, Teilchen mit dem bloßen Auge zu beobachten. Jedoch ermöglichen verschiedene Werkzeuge, sich der Teilchenebene modellhaft anzunähern. In diesem Fall wird die AR zielgerichtet zur Visualisierung der Teilchenebene eingeführt, um das Bewusstsein sowie das Verständnis bezüglich der Prozesse auf Teilchenebene zu schärfen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu betonen, dass die Visualisierung selbst ein Modell bleibt und niemals die Realität darstellen kann.

Bei der Darstellung der Prozesse auf Teilchenebene erhalten die Lernenden eine dreidimensionale Anima-

tion direkt an der Graphitfolie, sodass eine lokale Verortung am Realobjekt gewährleistet ist. Hierbei kann die Interkalation der Lithium-Ionen mit dem Graphitgitter beobachtet werden. Zudem wird über einen gesonderten Button an der Seite die Möglichkeit gegeben, den Lade- und Entladevorgang im Modell zu erfassen. In **Forschungsauftrag 1** bekommen die Schülerinnen und Schüler u. a. die Aufgabe, eine Skizze anzufertigen, welche die Prozesse auf Teilchenebene beschreibt (s. **Abb. 4**). Hierbei sollen die beiden Teilprozesse rein auf der submikroskopischen Ebene erklärt und bewusst von der symbolischen Darstellung abgegrenzt werden. Die Skizze kann mithilfe der 3D-Animation angefertigt werden, sodass auch hier die AR als Hilfestellung zur Förderung von individualisierten Lernprozessen dienen kann.

Als Abgrenzung zu den zuvor beobachteten Prozessen auf Teilchenebene, soll nun der Schritt zur Symbolisierung der Teilchen erfolgen. Hierfür erhalten die Schülerinnen und Schüler in **Forschungsauftrag 1** (s. **Abb. 5**) die Aufgabe, die jeweiligen Teilgleichungen der Redoxreaktion beim Lade- und Entladevorgang aufzustellen. Dadurch kommt es zu einem erneuten Wechsel der Darstellungsebene von Teilchen. Hier ist es wichtig zu thematisieren, dass es sich an dieser Stelle lediglich um eine Repräsentationsform der Teilchen handelt, welche eine Abstraktion von den Schülerinnen und Schülern erfordert. Der Transfer von der makroskopischen über die submikroskopische zur symbolischen Ebene soll ihnen dabei helfen, die verschiedenen Ebenen bewusster voneinander zu trennen.

Experimentelle Erarbeitung, Sicherung und Kontextualisierung

Die bis zu diesem Punkt entwickelten Inhalte sollen anschließend in **Forschungsauftrag 2** mithilfe eines Experiments überprüft und gesichert werden (s. **Abb. 6** sowie [5, 6]).

Mahaffi ergänzte das bekannte Dreieck der Darstellungsebenen von Johnstone um eine vierte Repräsentationsebene von Teilchen, das so

© Fotos: Johann Seibert

genannte „Human Element“. Dieses berücksichtigt vor allem die Kontextualisierung eines Phänomens. Im Beispiel des Lithium-Ionen-Akkumulators könnte das z. B. der Umwelteinfluss solcher Akkumulatoren sein. Diesbezügliche Bewertungs- und Kommunikationskompetenzen der Schülerinnen und Schüler sollen in **Forschungsauftrag 3** gefördert werden (s. **Abb. 7**).

Praktische Tipps

Alle beschriebenen Materialien stehen auch unter <https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-chemiedidaktik/downloads.html> als Download zur Verfügung. Für den Einsatz im Unterricht müssen lediglich die Triggerbilder mit den passenden Akkus bestückt werden. Alternativ stellen wir Ihnen gerne eine 3D-Druck-Datei zur Verfügung, welche in diesem Fall die kostengünstigere Variante darstellt. Danach müssen die Schülerinnen und Schüler nur noch die kostenlose App Zappar auf ihren mobilen Endgeräten installieren, um die AR-Informationen abrufen zu können.

Weitere Anknüpfungsmöglichkeiten

Das Thema Lithium-Ionen-Akku wurde in diesem Fall ausgesucht, weil es prädestiniert dafür ist, die vier verschiedenen Darstellungsebenen zu repräsentieren. Allerdings bieten sich auch weitere Themenfelder zur Umsetzung an. Hierzu zählen Prozesse, die nur schwer auf Teilchenebene erklärt werden können, da sie auf makroskopischer Ebene in einer „Blackbox“ versteckt sind. Beispiele hierfür sind der Aufbau einer Batterie, die Funktionsweise einer Destillationsapparatur oder auch die Funktionsweise einer Brennstoffzelle.

Anmerkungen

- 1) Hierfür empfehlen wir Lithium-Ionen-Akkus zur Verwendung in Digitalkameras, da diese Akkus ein festes Gehäuse besitzen und somit die Brandgefahr minimiert wird.



6 | Forschungsauftrag 2 – Bau eines Dual-Carbon-Lithium-Ionen-Akkus



7 | Forschungsauftrag 3 – Diskussion der Lernenden über den nachhaltigen Einsatz von Lithium-Ionen-Akkus

Literatur

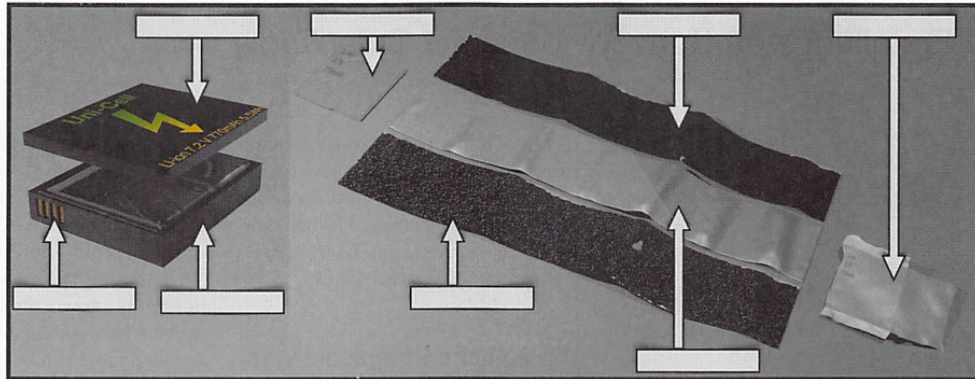
- [1] Huwer, J.; Lauer, L.; Dörrenbächer-Ulrich, L.; Thyssen, C.; Perels, F.: Chemie neu erleben mit Augmented Reality. MNU (5/2019), S. 420–427
- [2] Azuma, R.; Bailly, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B.: Recent advances in augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21(6/2001), S. 34–47
- [3] Johnstone, A.H.: Teaching of Chemistry – Logical or psychological? Chemistry Education: Research and Practice in Europe 1(1/2000), S. 9–15
- [4] Mahaffy, P.: The future shape of chemistry education. Chemistry Education Research and Practice 5(3/2004), S. 229–245
- [5] Hasselmann, M.; Quatal, D.; Klaus, M.; Wagner, C.; Oetken, M.: Lithium-Ionen-Akkus für den Chemieunterricht. Nachrichten aus der Chemie 9/2013, S. 876–882
- [6] Hasselmann, M.; Oetken, M.: Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus. ChiuZ 48(2/2014), S. 102–113

DER LITHIUM-IONEN-AKKU

Forschungsauftrag 1

1. Makroebene

Erkunde die Bestandteile eines Lithium-Ionen-Akkus mithilfe der Augmented Reality und beschrifte die nachfolgende Skizze.



Folgende Begriffe stehen dir zur Verfügung:

- Verpackung
- Graphit-Elektrode
- Ladeelektronik
- Akku-Pack
- Isolatorfolie
- Deckel
- Lithium-Cobaltoxid-Elektrode
- Gehäuse

2. Teilchenebene

Erkläre die Funktionsweise eines Lithium-Ionen-Akkus auf der Teilchenebene mithilfe geeigneter Skizzen. Als Hilfe steht dir hierzu die „Chemische Lupe“ in Form einer Augmented Reality zur Verfügung.

3. Symbolebene

Erkläre die Funktionsweise eines Lithium-Ionen-Akkus. Stelle hierzu die jeweilige Oxidations- und Reduktionsgleichung sowie die Gesamtgleichung für den Lade- und Entladevorgang auf.

DER LITHIUM-IONEN-AKKU

Wie funktioniert ein Lithium-Ionen-Akku?

Ob in Handys, Laptops oder anderen mobilen Geräten, der Lithium-Ionen-Akku ermöglicht es, dass wir unsere Endgeräte standortunabhängig verwenden können. Mittlerweile ist er zu einem festen Bestandteil in unserem Alltag geworden. Allerdings birgt der Einsatz solcher Akkus auch seine Gefahren, was in der Vergangenheit immer häufiger thematisiert wurde.

**Es ist bekannt:**

- Akkumulatoren (kurz: Akkus) sind wiederaufladbare Batterien.
- In einem Akku gibt es zwei verschiedene Halbzellen.
- Der Umkehrprozess eines galvanischen Elements heißt Elektrolyse.
- Eine Redoxreaktion besteht immer aus einer Oxidation und einer Reduktion.

DER LITHIUM-IONEN-AKKU

Forschungsauftrag 2

Baue einen Lithium-Ionen-Akku (hier: Dual-Carbon-Akkumulator) und verwende dabei die Ergebnisse aus Forschungsauftrag 1.

Formuliere die Durchführung, Beobachtung und Erklärung des Experiments.

Zum Experimentieren stehen dir folgende Materialien zur Verfügung:

- zwei Graphit-Minen
- ein Plastikgefäß
- Lüsterklemmen
- verschiedene Kabel und Krokodilklemmen
- ein Spannungsmessgerät
- eine LED
- eine Spannungsquelle
- eine Elektrolyt-Lösung (Lithiumperchlorat)

Forschungsauftrag 3

Diskutiere die Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus und deren Einfluss auf die Umwelt, indem du Vor- und Nachteile der Technologie darlegst.

2.3. Interaktive eBooks, in Form von Multitouch Learning Books und Multitouch

Experiment Instructions, als digitale Lernbegleiter im Chemieunterricht

Im Gegensatz zu den in Kapitel 3.1 und 3.2 vorgestellten Lernwerkzeugen, werden in diesem Kapitel digitale Lernbegleiter vorgestellt, die das Lernen als solches über einen längeren Zeitraum hinweg unterstützen. Technisch wird dies in diesem Fall in Form von interaktiven eBooks umgesetzt. Multitouch Learning Books (MLB) und Multitouch Experiment Instructions (MEI) sind interaktive eBooks, die nicht nur dem klassischen Verlauf eines Schulbuchs bzw. einer Versuchsanleitung folgen, sondern vielmehr Hefteinträge, weitere digitale Inhalte, wie z.B. kollaborative oder Self-Assessment Aufgaben, digitale Messwerterfassung innerhalb eines digitalen Mediums miteinander kombinieren. Wie eine solche Kombination aussehen kann, wird in Abschnitt 3.3.2 näher beschrieben. Huwer und Eilks (2017) präsentieren interaktive eBooks, welche als Multitouch Learning Books beschrieben werden, als Möglichkeit der Nutzung digitaler Medien als Lernbegleiter, der u.a. zur Vernetzung von Lernorten genutzt werden kann. Multitouch Learning Books bestehen aus mehreren lernortverbindenden Modulen, zu denen beispielsweise eine Multitouch Experiment Instruction (MEI) gehören kann, welche das forschende Experimentieren der Schüler*innen unterstützt. In Abschnitt 3.3.1 wird ein solcher Modulcharakter exemplarisch beschrieben.

Interaktive eBooks aus fachdidaktischer Sicht

Durch den Einsatz im Schülerlabor kann eine Vernetzung von Lernorten stattfinden, sodass Lernen nicht ausschließlich im formellen Kontext der Schule, sondern auch in nicht-formalen Lernorten gefördert wird. Weitere Module können für den Einsatz in der Schule oder die Einbindung von Lernen in informellen Kontexten geplant werden, wodurch die Verknüpfung mehrerer Lernorte erzielt werden kann (Huwer, Seibert & Brünken, 2018).

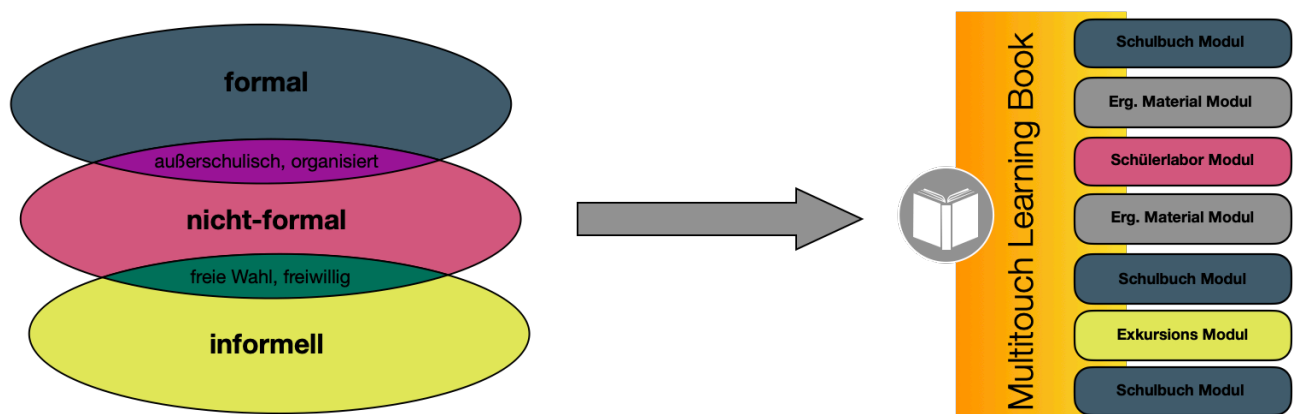


Abbildung 5 Integration verschiedener Lernorte innerhalb eines Multitouch Learning Books durch individuell erstellbare Module für den Unterricht

Huwer und Brünken (2018) beschreiben Multitouch Learning Books als Erweiterung herkömmlicher analoger Schulbücher, um auf die Lernenden abgestimmte Aspekte der Individualisierung, die zudem klassische Gestaltungs Nachteile und -fehler von analogen Schulbüchern auszugleichen (Huwer & Brünken, 2018). Damit wird bezweckt, dass eine klassische Darstellung von Informationen zugunsten von vernetzten, interaktiven, multimedialen Informationsangeboten ersetzt wird und innerhalb des eBooks Übungsmöglichkeiten durch sogenannte Widgets mit direkter Rückmeldung bezüglich der Richtigkeit der Ergebnisse vorhanden sind (Huwer & Eilks, 2017). Durch diese Unterstützung konnte ein signifikanter Wissenszuwachs bei Einsatz eines MLB beim Experimentieren im Schülerlabor im Vergleich zu einer analogen Versuchsanleitung gezeigt werden. Schüler*innen können diese eBooks zum geleiteten forschenden Lernen (engl. guided inquiry) beim Experimentieren individuell nutzen und durch die Nutzung der angebotenen gestuften Hilfestellungen eine Einschränkung des Öffnungsgrades bis hin zum strukturierten forschenden Lernens (engl. structured inquiry) bewirken. Beim Experimentieren mithilfe einer MEI werden die kognitiven Prozesse der Lernenden beim Experimentieren gefördert, indem ähnlich wie beim Multitouch Learning Book die multimediale Darstellung von Informationen und Aufgaben mit gestuften Hilfestellungen kombiniert wird. Widgets, Anwendungen mit Vorlagen, welche Nutzer je nach benötigtem Inhalt und den Bedürfnissen der Schüler*innen verändern können, können hier verschiedene Funktionen erfüllen, wie zur Wiederholung des benötigten Vorwissens zu den Versuchen, zur Dokumentation von Versuchsaufbauten und Messdaten, zur Auswertung von Messdaten, zur Formulierung von Erklärungen und Überprüfung der Ergebnisse.

Interaktive eBooks aus fachmediendidaktischer Sicht

Durch den Einsatz eines solchen digitalen Lernbegleiters können neue Aufgabenkulturen in das unterrichtliche Geschehen integriert und in Anlehnung an das SAMR-Modell entsprechende Aufgabenformate neu definiert werden (Puentendura, 2007). Die interaktiven eBooks liefern eine Plattform, um genau diese „neuen“ Aufgaben didaktisch angereichert in dem digitalen Medium zu implementieren. Oft werden eBooks dazu missbraucht, um analoge Schulbücher als „modern“ zu vermarkten. Dies wäre zum Beispiel der Fall, wenn 1:1 das analoge Schulbuch als PDF Datei auf dem digitalen Endgerät abgerufen werden kann. Puentendura (2007) beschreibt dies als Substitution. MLBs und MEIs bieten allerdings auch die Möglichkeit der Augmentation (z.B. Implementierung von drahtlosen Datalogging Systemen innerhalb des eBooks), der Modifikation (z.B. durch das kollaborative Arbeiten mittels eines virtuell geteilten

Dokuments innerhalb des eBooks) und der Redefinition (z.B. durch die Implementierung von Self-Assessment Aufgaben innerhalb des eBooks) der vorherrschenden Aufgabe bzw. Methode. Innerhalb der interaktiven eBooks beschreibt der Begriff Widget eine entsprechende interaktive Aufgabe innerhalb des Lernbegleiters.

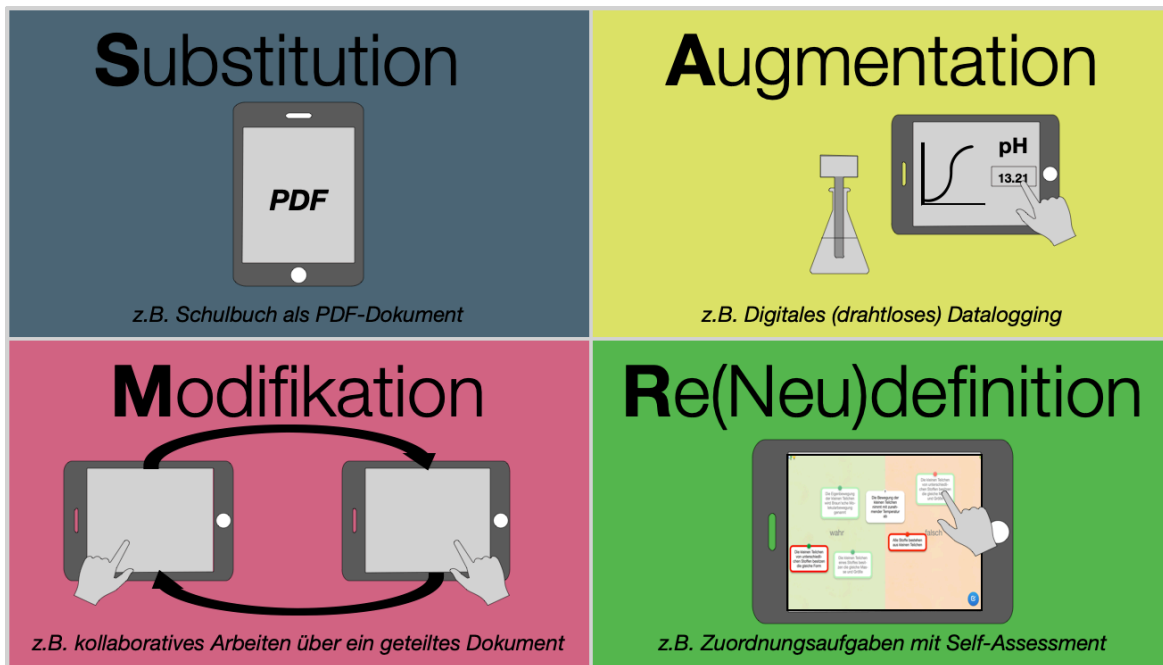


Abbildung 6 Aufgabenkulturen zur Integration in ein digitales eBook als Grundlage der "Multitouchfunktion" innerhalb von MLBs und MEIs in Anlehnung an das SAMR-Modell nach Puentendura (2007)

Zum Erstellen von Widgets, die in iBooksAuthor, einem kostenlosen Programm für macOS in das eBook eingebunden werden können, können kostenlose Plattformen wie Learningapps und Bookry genutzt werden. Die Bandbreite des Einsatzes wird durch die Diversität der Widgetvorlagen deutlich. So werden beispielsweise Zuordnungsaufgaben mit instant feedback, Lückentexte, Quizzes, Pinnwände und Foren als Vorlagen auf Bookry und Learningapps bereitgestellt. Neben Individualisierung durch Hilfestellungen, von welchen besonders leistungsschwächere Schüler*innen profitieren, können auch leistungsstarke Schüler*innen gefördert werden, indem zusätzliche, vertiefende Übungen bereitgestellt werden. Durch den Einsatz von sogenannten „Serious Games“ kann zudem ein spielerischer Faktor eingebaut werden, welcher zu einer Förderung der Motivation der Schüler*innen führt (Seibert et al., 2019). Neben den Widgets können in iBooksAuthor auch Inhalte wie Videos, Dokumente, Websites oder Präsentationen in die interaktive Versuchsanleitung eingebunden werden. Generell können die Widgets und eingebundenen Inhalte verschiedene Funktionen erfüllen, welche sich vor allem auf die Interaktion oder Kommunikation, die Differenzierung und der Bereitstellung von Informationen beziehen. So können den Schüler*innen Materialien zur Verfügung gestellt werden, die Aufgaben, Möglichkeiten zur Kommunikation ihrer Ergebnisse,

Übungen zum Vertiefen der Inhalte und Hilfestellungen, welche sich auf verschiedene Problemtypen beziehen können. Werden Tests oder Übungen zur Überprüfung des Wissens oder Verständnisses der Schüler*innen in das MLB oder die MEI integriert, so ist auch eine diagnostische Nutzung möglich, beispielsweise durch Multiple Choice Items oder halboffene oder offene Aufgaben im Rahmen des „Form Builder“ in Bookry, welche nach deren Bearbeitung eingereicht und von der Lehrperson bewertet werden können. MEIs und MLBs zielen auch auf die Förderung der digitalen Kompetenzen der Schüler*innen ab, besonders die Nutzung digitaler Medien, was im Rahmen der Kompetenzen der digitalen Welt unter dem Aspekt 2.3 „Zusammenarbeiten“ und vor allem „Digitale Werkzeuge für die Zusammenarbeit bei der Zusammenführung von Informationen, Daten und Ressourcen nutzen“, wobei die Nutzung der Medien im Gegensatz zur produktiven Gestaltung von digitalen Medien im Fokus steht.

Interaktive eBooks aus lernpsychologischer Sicht

Interaktive eBooks zeichnen sich insgesamt durch ihre starke Schüler*innenorientierung aus. Die damit einhergehende Motivationssteigerung wird in 3.3.1 näher beschrieben. Zusätzlich bietet die Implementierung diverser Widgets im Sinne des differenzierenden Lernens einen deutlich höheren Individualisierungsgrad im Vergleich zu analogen oder anderen digitalen Medien. Dieser hohe Grad an Individualisierung, der durch den Einbau eines solchen interaktiven Lernbegleiters mitkommt, können auch ganz einfach neue Diagnosemöglichkeiten geschaffen werden (siehe auch Abschnitt 3.3.7 und 3.3.8). Das Lernen der Schüler*innen kann ebenfalls dadurch unterstützt werden, dass durch den Einsatz von Multimedia Darstellungen auf verschiedenen Repräsentationsebenen möglich sind, was eine Herausforderung für die Schüler*innen darstellt aber auch die Chance bietet, dargestellte Inhalte tiefer zu durchdringen und zu verarbeiten. Ein weiterer Vorteil besteht laut Seibert et al. (2019) in der einfachen Organisation der Materialien, da nach einmaligem Erstellen der MEI, diese ohne zusätzlichen Aufwand immer wieder verwendet eingesetzt werden kann, während bei analogem Material eine Organisation von Hilfekarten und sonstigen Materialien notwendig wäre (2019: 8). Ein wichtiger Aspekt ist, dass bei der Gestaltung der MEI, durch Berücksichtigung der Cognitive Load Theory auch eine Förderung der Selbstregulation der Schüler*innen erzielt werden soll (Seibert et al., 2020). Hierbei muss im Speziellen Wert auf die fachdidaktische aber auch die bildungswissenschaftliche Ausarbeitung des digitalen Lehr-Lernsettings gelegt werden. In Abschnitt 3.3.7 und 3.3.8 werden zudem Möglichkeiten aufgezeigt, wie einerseits mittels des

Mediums selbst und andererseits über integrierte Zusatzinhalte in Form eines Lerntagebuchs das Selbstregulierte Lernen gefördert werden kann.

2.3.1. Das Schulbuch 4.0: Das Multitouch Learning Book als Lernbegleiter

Wie bereits im Einführungskapitel beschrieben, sind Multitouch Learning Books modular aufgebaut. In diesem Abschnitt soll der modulare Charakter an einem Beispiel näher beschrieben werden. Innerhalb einer Unterrichtsreihe zum Thema Teilchenmodell nach Demokrit und der anschließenden Betrachtung von Diffusions- und Lösevorgängen wurde ein Multitouch Learning Book entwickelt, das formale Lerninhalte (in der Schule) und non-formale Inhalte (im Schülerlabor) beinhaltet. Innerhalb dieses interaktiven Lernbegleiters bearbeiten die Schüler*innen in der Schule entsprechende fachliche Aspekte und wenden diese beim Experimentieren im Schülerlabor an. Diese Unterrichtsreihe wurde für den Anfangsunterricht in Klassenstufe 8 entwickelt.

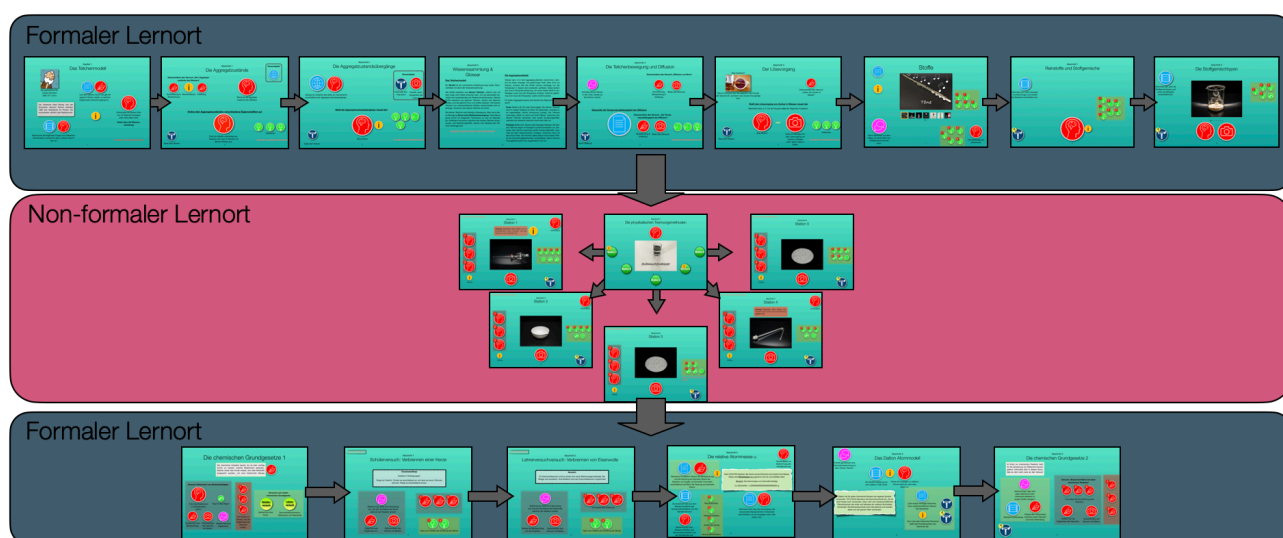


Abbildung 7 Struktureller Aufbau eines Multitouch Learning Books für die inhaltliche Integration eines Schülerlaborbesuchs innerhalb einer Unterrichtsreihe im Chemieunterricht

Die Entwicklung und Ausbildung von Teilchenvorstellungen zählt im Chemieunterricht zu den wichtigsten Inhalten innerhalb der Kompetenz des Erkenntnisgewinns und beschreibt einen wichtigen Aspekt im Arbeiten mit Basiskonzepten. Mit Hilfe der einfachen Teilchendarstellung im undifferenzierten Teilchenmodell nach Demokrit können einfache Prozesse, wie z.B. die Aggregatzustände und ihre Änderung oder Diffusion bzw. Lösevorgänge fachlich auf submikroskopischer Ebene beschrieben werden. Mit der Einführung dieses ersten Modells erhalten die Schüler*innen nun die Möglichkeit nicht mehr nur phänomenologisch chemisch-physikalische Prozesse zu beschreiben, sondern diese auch fachlich korrekt erklären. Der digitale Lernbegleiter zeigt in diesem Beispiel innerhalb der Schulmodule (siehe Abbildung 7, dunkelblau) einen rein linearen Charakter, sodass zusätzlich eine Moderation durch die Lehrkraft erforderlich ist. Die eingebauten Schülerlabormodule sind rein non-linear aufgebaut, sodass die Schüler*innen beim Experimentieren ihren eigenen Lösungsweg wählen können

und entsprechend der Methode des Forschenden Lernens beim Experimentieren arbeiten können (siehe Abbildung 7, rosa). Wie bereits Huwer (2015) und Zehren (2009) festgestellt haben, bringt der einfache Besuch des Schülerlabors ohne curriculare Einbindung der Lerninhalte keinen didaktischen Mehrwert. Deshalb wurde innerhalb des MLBs eine abschließende Unterrichtssequenz integriert, um das erarbeitete Wissen aus dem Schülerlabor zu sichern und in die curriculare Lerneinheit in der Schule zu implementieren.

Publikation F:

The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion

Johannes Huwer¹, Annika Bock², Johann Seibert³

Eingereicht im Februar 2018

Angenommen im Mai 2018

Publiziert am 30. Mai 2018

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johannes Huwer, Annika Bock, Johann Seibert, American Journal of Educational Research, 2018, 6(6), 763-772.

Copyright © 2018, Science and Education Publishing.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode und Material mitentwickelt
- Evaluation mitbetreut

¹Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

²Gymnasium am Krebsberg, Albert-Schweitzer-Straße 23, 66538 Neunkirchen

³Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion

Johannes Huwer*, Annika Bock, Johann Seibert

Didactics of Chemistry and Schülerlabor NanoBioLab, University of Saarland, 66123 Saarbrücken, Germany

*Corresponding author: j.huwer@mx.uni-saarland.de

Abstract This manuscript introduces the Multitouch Learning Book as a learning guide for school chemistry lessons. It is an e-book with integrated multimedia content, in which additional interactive materials are integrated. The use of chemistry lessons offers various advantages in terms of individual support, teaching methods and the combination of teaching with extra-curricular learning locations. Multitouch Learning Books can be grouped into the Huwer and Brünken (2018) model, which describes the dimensions of the use of digital media in individual learning processes. The first dimension describes the three operating modes of the tablet as an experimental tool, a learning tool, as well as a learning companion, the second dimension describes the methodological implementation of the tablet and the third dimension describes individualization. In addition, this document introduces the independently created Multitouch Learning Book on the topic of the particle model. During the preparation process, the current state of the art in research on the topics covered and the possibilities for individual funding was taken into account. In addition, an empirical study was conducted to investigate the influence on cognitive learning growth.

Keywords: general public, middle school science, high-school, graduate education, research, collaborative/cooperative learning, computer-based learning, self-instruction, inquiry-based/discovery learning, multimedia-based learning, misconceptions/discrepant events, school book, multitouch learning book, informative and cooperative technology, IC

Cite This Article: Johannes Huwer, Annika Bock, and Johann Seibert, "The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion." *American Journal of Educational Research*, vol. 6, no. 6 (2018): 763-772. doi: 10.12691/education-6-6-27.

1. Introduction

The use of digital media is playing an increasingly important role in schools. The integration of digital media into teaching is facilitated by the advancing development of technology and the increasingly better technical equipment of schools [1]. From a political point of view, media literacy is also seen as an important cultural technique, especially in Germany. Therefore, it is "also the task of the school to establish a sound knowledge base, to compensate for deficits, to open up educational opportunities and[...] to ensure media education and media literacy as well" [2].

Digital development began in the 1980s in school lessons when special computer rooms were equipped with desktop computers. Especially for chemistry lessons, there were applications on the desktop computers for data acquisition, animation and simulation (e. g. for depicting the particle level) and various learning programs, which were kept very simple due to the technical possibilities [1,3]. From the late 1990s, more and more laptops were purchased in schools. However, they often remained in the computer rooms and were not integrated into the classrooms. The reason for this was that pedagogical and didactic expectations were not fulfilled. From around 2010 onwards, the use of laptops will be replaced by

significantly smaller and more portable notebooks, raising hopes for more collaborative and creative learning. Nevertheless, even these could not establish themselves in everyday school life [1].

The final step, which Krause and Eilks [4] call the 'digital revolution' for the time being, is the use of ICT in the classroom, which is increasingly replacing traditional computers and notebooks. Due to the technical equipment of such devices and the versatile application possibilities offered by cameras, microphones and numerous apps, the tablet is referred to as a multifunctional device in the classroom [1].

Some schools already have iPad or tablet classes in which each student has their own iPad [4]. Tablets are used in the classroom because of their practicable technical and application-related features. In addition, mobility is a significant advantage due to its relatively low weight and dimensions [1]. National and international scientific studies on the use of tablets in schools have consistently shown positive results (cf. e. g. 'Tablet PCs in the classroom', [5]). Success is not always expressed in improved performance, but often in an improved learning culture that manifests itself in the form of more independent learning, increased motivation and increased attention [6]. Especially in chemistry classes, a tablet, like other digital media, offers a wide range of applications. For example, it can be used as a digital tool to help evaluate and communicate data generated in digital form

using computers, digital data acquisition systems, cameras, graphics-enabled pocket calculators, the Internet and mobile devices. Digital media can help with static and dynamic visualizations on the particle level as well as with the documentation and evaluation of experiments.

Today's possibilities for the use of digital media, however, go far beyond the applications described previously in the case of chemistry lessons by illustrating and using digital textbooks of different categories. In particular, the Multitouch Learning Book offers various possibilities for individualization in chemistry lessons. It accompanies the learner through teaching units and replaces both the analogue textbook and the analogue exercise book. By embedding widgets - applications integrated into the book - numerous tasks, media, forms of documentation, collaborative tasks and assistance can be integrated into the Multitouch Learning Book. Particularly with regard to the individualization of chemistry lessons, there are therefore opportunities that cannot be realized with analogous materials. The tablet as a representative of the current generation of digital media forms a suitable technical basis for this.

2. Theoretical Background: Individualization and ICT in Chemistry Education

2.1. Individualization and Diversity in Chemistry Education

"The diverse developments in our society (globalisation, migration, demographic change, change in values) [...cause an increasing diversity of identities, situations and learning requirements in schools]" ([7], 2013, p. 2). There are different requirements, students bring with them into class, such as age, gender, sexual orientation and national origin, but also religion, appearance, work experience and political belief [8]. In view of an inclusive school system, diversity instead of heterogeneity is required today. Both terms differ from homogeneity, in which all learners in a class are considered to be comparable and to be treated equally. While in heterogeneity, however, the diversity of learners is seen as a problem, the differences and diversity in diversity are recognized and seen as an asset. The goal of heterogeneity is integration, with the goal of diversity being the inclusion of all students [7,9,30]. The importance of diversity and inclusion is illustrated by the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities (BRK), an agreement on human rights. The BRK is embodied by eight principles: Respect for human dignity, non-discrimination, participation and inclusion, respect for the diversity of disabled people, equal opportunities, accessibility, gender justice and "respect for the developing abilities of disabled children and their identity" ([10], p. 14). The right to inclusion is therefore applicable law in Germany [10]. However, in terms of diversity, it is not only the inclusion of people with disabilities that are being pursued. Diversity also affects other aspects of diversity, such as social origin, migration backgrounds or gender [11].

The question arises as to how, with regard to diversity, the different needs of pupils in the classroom can be taken into account on the one hand, and the respective strengths on the other. So there is a need for different individualization strategies [12]. In this context, the concept of differentiation is often mentioned. Bönsch defined the term as follows in 2009:

"Differentiation is the varying procedure in the presentation and processing of learning content, on the other hand the classification or affiliation of learners to learning groups according to certain criteria. The aim is to meet the demand to offer every learner optimal learning opportunities, to secure the demands and standards in a professional, institutional and social respect and at the same time to prepare them in a learn-oriented way. For the organisation of learning processes, differentiation is presented as a bundle of measures to optimise learning from a professional, organisational, institutional, individual and social point of view" ([13], p. 14).

Generally, a distinction is made between two types of differentiation: external and internal (or internal) differentiation. External differentiation is "largely determined by the cultural and educational traditions of our society" ([14], p. 23). These include the type of school, the school profile and the year classes [14]. There are differences between school types in terms of target groups, the respective educational missions and "the underlying notions of imagery and talent" ([13], p. 17). In the case of internal differentiation, on the other hand, the content of the lessons and the learning arrangements are adapted to the group or the individual [13]. In adaptive forms of learning in particular, the goal of inclusion is aimed for, as a learning goal differentiated teaching takes place there [7].

In order to practice a meaningful internal differentiation, it is necessary to present the teaching contents with a variety of methods in many different ways. The reason for this is that the pupils have different learning talents and use different learning paths and styles. Therefore, not only linguistic but also pictorial and illustrative presentations of the contents are important. In this context, especially in chemistry lessons, references must be created between the newly learned and everyday experiences as well as to further elements of knowledge. Johnson and Johnson [15] mention the cooperative forms of learning in which pupils actively deal with the subject matter in a problem-oriented manner as a suitable method for using diversity in a class [15]. Especially in chemistry lessons, cooperative forms of learning are offered, for example in student experiments, since the students can support each other in this process [7].

2.2. Multitouch Learning Book

Huwer and Brünken [16] have developed a model that describes the three central dimensions of the use of digital media in individual learning processes (Figure 1).

The model focuses on the three didactic functions of tablets in the classroom. The functions are subdivided into the three operating modes' the tablet as an experimental tool', the tablet as a learning tool', and' the tablet as a learning companion' [16].

As an experimental tool, tablets offer the possibility to support experiments, for example in the form of direct measurement data acquisition, which is relevant in the natural sciences. As a learning tool, it can support the cognitive learning process in concrete situations, for example through visualization. In addition, there are various apps that help the tablet to be used in the classroom. If the tablet is used as a learning companion, it enriches the cognitive learning process over a longer period of time and ideally combines formal, non-formal and informal learning. An example of such a learning companion are Multitouch Learning books. Occasionally, hybrid modes of operation may occur [16,17,29].

This methodical implementation represents the various operating modes away from the status quo (blue circle, Figure 1):

- **Conservation** of the prevailing culture.
- **Augmentation** of existing methods by innovative approaches using ICT.
- The **modification** of student tasks that characterize the essential design of the assignment.
- **Redefinitions** in that various apps allow tasks that were previously not possible, such as the creation of short video clips using an EXplainistry.

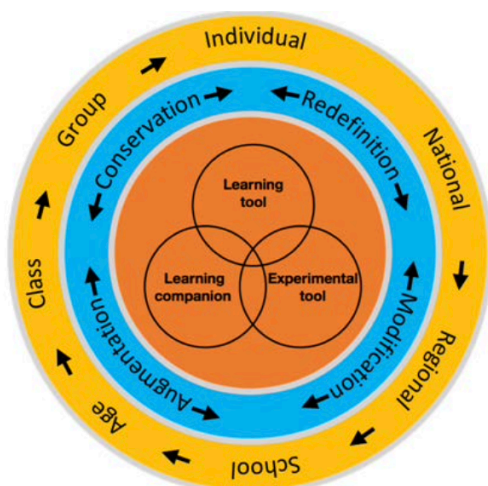


Figure 1. Model of Individualization and didactical functions of ICT in school

The various degrees of individualization are represented in the outermost circle. The desire for an individually supported course is not new. Since tablets offer alternative ways of (chemistry) teaching due to the variety of application variants, individualization may play an important role because there is a chance for enhanced individualization at many levels including regionally relevant contexts such as language, to the creation of learning materials for individual pupils. These can range from national, regional or school level to individual classes and groups up to the individual within a class level. Huwer and Brünken [16] cite as an example the possibility of individualizing learning materials for individual students or creating an EXplainistry in learning groups. In addition, non-formal education offers can be networked

with formal school education in regionally significant contexts [16].

The tablet is presented below as a medium on the basis of which an application can be implemented and operated as a learning guide. In this case, the learning guide is a Multitouch Learning book, which is described below.

2.3. Multitouch Learning Book

A Multitouch Learning Book is an e-book with integrated multimedia content in which additional interactive materials such as worksheets and help cards are or can be integrated. They represent e-books that "can be dynamic, interactive, non-linear and modular" ([18], p. 83). Huwer and Eilks define them as "learning companions [...]" in the sense of a "learning portfolio with integrated interactive elements" ([18], p. 92), which are divided into two categories. On the one hand, a distinction is made between changeable Multitouch Learning books, which can be created independently by a teacher, for example, and can thus be adapted to different target groups and needs. For this, you need a special program (e. g. iBooks Author) to create and customize it. On the other hand, there are Multitouch Learning books that cannot be changed or adapted [11,18,32]. This includes, for example, the eChemBook [21].

The advantages of the non-modifiable variant are that they can be examined and approved by the authorities in accordance with the corresponding curricula. The disadvantage, however, is that it is not possible to take into account regional references or individual class-based support requirements. Since the development time of this variant is quite long, it cannot be adapted to current events. The changeable Multitouch Learning books, on the other hand, are characterized by their flexibility in adapting to the respective class, regional backgrounds and current developments. Due to their flexibility, the books can contribute to differentiation within a class and thus support individual promotion. Since the books can always be modified, it is possible to incorporate regional conditions or current developments [18].

2.4. Individualization by a Multitouch Learning Book

Multitouch Learning Books offer possibilities to achieve this flexibility by adapting the content and methods. To adapt information to different types of learning, different analogue materials such as texts, images or comics [20] can be inserted in a book page at the appropriate place and displayed as required. These materials can be enhanced by dynamic visualizations, animations and videos dynamic visualizations and animations can be used, for example, to illustrate the dynamics of processes on a particle level. You can not only use different material types for the materials to be included, but you can also extend the individual types with different variants of the information display (for example, different text versions). A student can choose which variant he wants to look at, which results in a high degree of self-determination [18].

With regard to the individual advancement of the pupils, flexibility in terms of content and materials as well as the

variety of methods, for example in the selection and processing of tasks, play an important role. In the Multitouch Learning Books, students can be assigned different tasks that allow different forms of editing. Especially in the case of changeable Multitouch Learning books, it is possible to adapt the tasks to school groups or individual students [11,18]. Ulrich [11] cites as an example that a task is presented as free text, as text with word railings and also as gap text. Students can choose the level according to their individual strengths. In addition, it is also possible to implement additional aids for processing the tasks, which pupils can access at the appropriate point. These can also be offered in stages, which means that even complex tasks can be included for individual support [11]. Within the e-book, it is possible to select the aids individually since they are only displayed when a request is active. In an analogous textbook, on the other hand, all aids are presented on one page [21]. In addition, the tasks and aids in Multitouch learning books can be structured differently, e. g. as drag and drop tasks, pop-over texts or assigned tasks. This results in an appealing and playful design of the tasks, which is not possible in analogue textbooks [18]. In addition, tasks and tests can be integrated with an automatic control by the system. The advantage of this is that these tests can be repeated as often as required and thus serve for self-control. At the same time, the teacher has time to deal with problems individual. Multitouch Learning Books also make it possible to include non-linear learning pathways that are inconceivable within an analog textbook in this form. In this way, the individual learning pathways of the pupils are promoted. Hyperlinks can be used for the creation of such links, whereby according to Ulrich et al. [21] it is important to ensure that the navigation is clearly laid out and that a route to the starting point is always visible [21].

Multitouch Learning Books can also support scientific learning in Schülerlabors by "compensating for deficits in static information offers or experiment instructions in order to achieve a better networking of experimental learning with the underlying subject content" ([18], p. 81). One of the success criteria for student laboratories is their curricular networking with the school. The visit to the extracurricular learning center should be prepared accordingly in the classroom and should be followed up after the laboratory visit [22]. However, there is usually a break between the teaching materials and the materials used in the student laboratory. Multitouch Learning Books can overcome this rupture by creating appropriate networks. One possibility presented by Huwer and Eilks [18] are the Multitouch Learning books developed by an external team of authors, which are available in the form of an 'educational cloud' in different modules or contents. The teacher can assemble the modules individually according to the needs of the classes and thus select the degree of differentiation [18,28]. Pupils can also enter the experimental documentation of the experiments in the Multitouch Learning Books. This creates a network between the teaching materials and the materials from the student laboratory visit. For the student laboratory visit itself, the Multitouch Learning Book offers the advantage over the analogue form that additional media such as explanatory videos or animations can be integrated into

the materials available there. In addition, the Multitouch Learning Book also offers many possibilities for differentiation in the student laboratory, which plays an important role for the objectives of a student laboratory [18].

2.5. How to create a Multitouch Learning Book

For example, the MacOS software iBooks Author can be used to create Multitouch Learning books. Such software makes it possible to implement an e-book with texts and images together with widgets provided by the software or available over the Internet [31]. Widgets are "small, pre-programmed applications that can be modified by the user on a graphical user interface without programming knowledge and can be adapted to the respective application scenario" ([18], p. 89). The widgets can either be taken directly from the software iBooks author or from external platforms such as Bookry® or Learningapps® adapted and integrated into the e-book. While the widgets of iBooks Author and Bookry® in the e-book work without an active Internet connection, these are required for the widgets of Learningapps.org. The iBooks Author program offers the widgets Gallery, Media, Repetition, Interactive Image, Popover, Keynote, 3D, Scroll-Bar and HTML, where the content can be displayed directly on the book page. The gallery can be used to create an image gallery of multiple images on one image page, the Media widget can be used to insert additional videos, and the Popover widget creates a popup for a specific area on the book page. This allows you to hide text or images behind an icon. The contents of the widgets of Bookry® and Learningapps.org only become visible when the corresponding app icons are called up in the book. Bookry® offers in the form of HTML5 widgets in addition to widgets that contain "important elements[...] for scientific learning" ([18], p. 89) also includes various game widgets. With regard to gamification, for example, crossword puzzles or 4 images of 1 word can be integrated into an e-book. The widgets drag and drop for composing images, sketchpad for handwriting, notepad for typing text and the YouTube widget, which allows you to link to a YouTube video, are just some of the important elements for science lessons. The widget In Book Photo allows you to integrate your own pictures into the e-book. Widgets created by e-book authors are made available on the platform Learningapps.org, which can be inserted into the book pages. It is also possible to customize widgets independently. In addition to widgets for various assignment tasks, the platform also offers widgets for cooperative learning. This includes an integrated chat and a bulletin board, which are networked between the e-books of the pupils [18].

3. The Multitouch Learning Book: The Particle Model

The Multitouch Learning Book on the topic of The Particle Model presented below was designed for the eighth grade. It is a customizable Multitouch Learning book created with the iBooks Author program and

operated using tablets. Alternatively, it can also be operated using smartphones, computers or laptops. Due to various technical and didactic advantages of tablets in the classroom, however, the tablet is used as a digital tool [4,11,23]. It is a learning guide that replaces both the textbook and the textbook. Therefore, it is assumed that each student has his or her own terminal. The series of lessons was designed for six lessons, ideally double lessons. The didactic background of the teaching series is formed by multimedia learning environments of Witteck, Krause and Eilks [24] as well as the particle concept of Eilks, Möllering, Leerhoff & Ralle [25] and Eilks and Krause [26].



Figure 2. Icon Overview in a Multitouch Learning Book

The icons developed by Huwer, Seibert and Brünken [27] were used in the e-book to make the widgets clearer and easier to recognize. With their help, the pupils can directly recognize the category of the widget and in which level it is available. This promotes and facilitates navigation on the one hand and individual learning paths in the book on the other. The icons are divided into seven upper categories, which differ in color. This includes materials (light blue), tasks (red), tips (green), exercises (navy blue), communication (pink), additional information (yellow) and games (dark blue). The materials are divided into pictures & videos, Internet, encyclopedia & glossary and documents with correspondingly marked icons. The "Tasks" category is also divided into four types: Brain jogging, data acquisition, notes and camera. In the category "Tips" there are tips for understanding, device tips, language tips and experiment tips [27]. To make the structure of the interface transparent to the user, the icons in the Multitouch Learning Book are initially displayed as an introductory medium in an overview.

The Multitouch Learning Book is divided into five pages and a supplementary knowledge collection (Glossary). In order to make the e-book clearer, the contents of each lesson, with the exception of the third and fourth hour, are presented on a separate page. The third and fourth lessons are combined on a common page. The collection of knowledge or the glossary at the end of the book serves as a reference work on the one hand and as an aid if pupils have problems with the handling of tasks. To make navigation easy, students are guided from any section directly to the appropriate place in the knowledge

collection using hyperlinks. In this, direct links to the individual sections can be used, which makes it possible to quickly find the required information.

After an introductory lesson on the particle model, the topics of states of matter, changes in state of a matter, the dissolution process as well as particle movement and diffusion will be dealt with. These physical processes are first explained at the substance level and then transferred to the particle level, which means that a red thread can be seen through the series of lessons. In the following, the series of lessons including the widgets implemented on the book pages will be presented.

3.1. Page 1: The Particle Model

Entry into the classroom series is done by means of a comic strip, which is called up centrally as a popover. In order to ensure that students read the comic carefully, they should collect Democritus' thoughts with the help of the "Notepad" widget. These notes can be used for the subsequent discussion in the plenary session. Since the contents of the comic only allow assumptions about the existence of the small particles, the actual existence is justified with the help of the scanning tunneling microscope. To do this, students play the video Chemistry under the microscope using the YouTube widget, which contains a link to the video. This includes an interview with the Nobel laureate and co-developer of the scanning tunneling microscope Gerd Binnig and various visualizations of the microscope's functionality. In order to ensure that the video is watched carefully, six multiple choice questions have been added to the video.

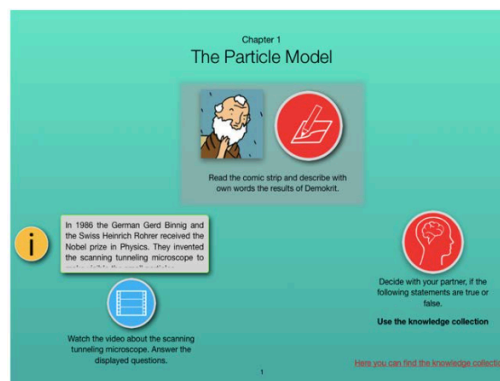


Figure 3. Chapter 1 The Particle Model

Since students do not know where the questions are displayed in the video, it is necessary to focus on the questions when watching the video. The questions are used to review and reinforce the video's most important insights. Answering can be done at an individual learning rate and individual passages of the video can be replayed if necessary. After an oral discussion of the term 'model', the pupils classify statements about the small particles in an assigned task as true or false. This gives them concrete ideas about the particle model. The relevant text in the knowledge collection contains the required information in a compact form.

3.2. Section 1 and 2: Aggregate States and Their Changes

As an introduction to the second hour, the teacher carries out a demonstration experiment in which the three aggregate states of the water are repeated on a material level. The documentation of the execution, observation and explanation is done by means of two note widgets, in which drag-and-drop texts are filled in and sentences are put into the correct order. The already prepared sketch of the experimental setup can be seen via a pop-up. In order to consolidate the contents, the pupils name the aggregate states of the water at the corresponding pins in prefabricated test sketches. In another brain jogging widget, the explanation is then transferred to particle level. In a prefabricated table, the students use drag and drop to assign properties on particle level to the states of matter.

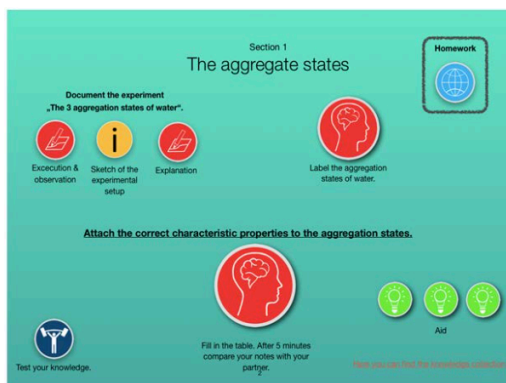


Figure 4. Section 1 The aggregate states

If it is difficult for a student to assign the relevant information, it is possible to use the collection of knowledge in which the relevant information is made available. Pupils who are able to work on the task quickly can take advantage of a training course in which aggregate states are assigned properties in a group puzzle. This will consolidate the previous task and allow students to see whether they have understood the content. In preparation for the next lesson, students will receive a homework assignment to download the free "Stop Motion Studio" app from the Internet (Internet widget). In the third lesson, the previous knowledge is activated at the material level in the same way as in the second hour. For this purpose, the students have access to a video created with the help of the programs iMovie and Explain Everything, which explains the state of matter transitions on a material level using everyday examples. The everyday examples show the pupils on the one hand that the transitions of state of aggregation are relevant in their living environment and on the other hand serve for a better understanding. In the brain-jogging widget, which is to be edited afterward, the pupils apply their knowledge acquired up to then by entering the aggregate state transitions into a graphic via drag-and-drop. Since the graph represents a circuit between the states of aggregation, pupils are also made aware of the fact that a substance can pass from one state of aggregation to another.

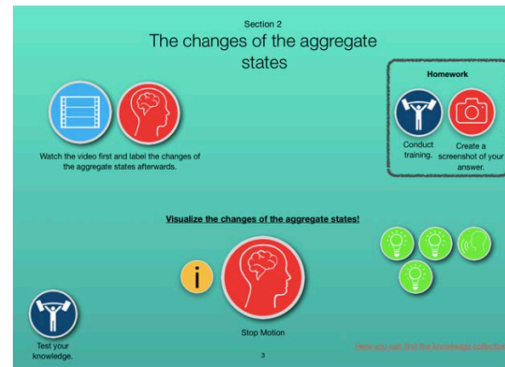


Figure 5. Section 2 The changes of the aggregate states



Figure 6. Interactive exercise for the changes of aggregate states

In order to transfer the explanation on a particle level, the next step is to develop dynamic visualizations using the App Stop Motion Studio. Since this app cannot be integrated into the Multitouch Learning Book, it is opened separately from the Ebook on the tablet. The procedure for making the films is based on the suggestions of Huwer and Seibert [17]. To visualize the aggregate states of the small particles, clay cardboard is available as a base and cellular rubber for modeling. At the same time, no specifications are deliberately made with regard to the appearance of the particles, so that one's own ideas can be introduced and realized. In addition, the pupils are informed in an additional information widget that the particles are also constantly in motion before and after the changes in the state of matter since this aspect is assumed to be ignored. For this purpose, corresponding animations created with the program Keynote are available, which show the particle movement in the aggregate states. In terms of differentiation, groups that have completed their tasks more quickly can visualize another transition or perform a training session.

The training includes a modified, cognitively more demanding version of the task in the initial brain jogging widget. The relative temperature, the aggregate states and the aggregate state transitions are to be named on corresponding markings. As soon as all groups have completed the development of the stop-motion films, the students watch the finished films together. Due to the

different appearance of the small particles, it is established that the particle model actually represents a model that simplistically depicts reality. The individual videos are critically reflected in the plenary session, which supports the cognitive study of the respective content.

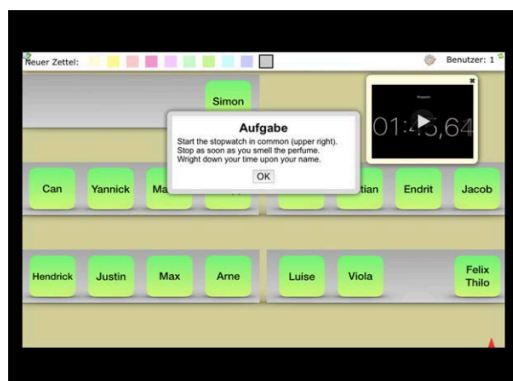


Figure 7. Collaborative exercise with the seat plan

The homework contains six animations that visualize the transitions on the particle level, which are to be connected with the corresponding names of the transitions. Once the task has been processed, the system immediately displays whether the selected solution is correct. Therefore, it can be repeated at any time for individual training.

3.3. Section 3: The Dissolution

The next lesson starts with a picture of tea and candy sugar with the signature "Why does tea taste sweet after a short time everywhere after adding sugar?". However, this question is not answered and serves only as an impulse. In order to demonstrate the dissolving process on a material level, the teacher carries out the demonstration experiment 'Dissolving sugar in water'.

After the students have documented it in the notes widget, they can choose between a brain jogging widget and a photo widget. The Brain Jogging widget opens the pop-up: "Create a stop-motion film that shows the dissolving process of sugar in water." This task is to be handled by the students who find the dynamic visualization helpful and who have already been able to create the stop-motion video in the previous hour without any major problems. The photo widget offers the possibility of displaying the dissolving process as static images, resulting in snapshots of the process. This task can be performed by students who have had problems creating stop-motion movies in the previous hour or who are cognitively overburdened with the dynamic explanation. The static visualization prevents overloading of the working memory. The photo widget can capture up to five images. Both types of visualization can be performed with the sponge rubber particles from the previous hour or with newly created particles. Pupils who are finished early have the opportunity to work on the other variant and experience both dynamic and static visualization. In addition, a training can be carried out which shows static images of the dissolution process that are to be put in the correct

order. The results of the visualization task are considered in class and critically reflected upon.

3.4. Particle Motion and Diffusion

This lesson starts with a collaborative introductory task. By opening the corresponding communication widget, a seating plan of the class in the chemistry room with its name and a stopwatch are displayed. The teacher sprays some perfume in one place in the chemistry room, whereupon the students start the stopwatch. This is stopped each time a student smells the perfume. In this case, he opens a text field and writes the elapsed time to his name in the seating plan. The result will then be discussed in class. The students realize that the perfume particles are dispersed in the room and must have mixed with the air particles. After completing the task, the teacher explains that the observed mixing is called diffusion. Since this movement is not visible to the pupils, the experiment "diffusion of bromine" is carried out under the fume cupboard. Documentation is done in the Notes widget. In order to visually document the experiment, a pupil is asked to take five photos of the experiment and send them to his fellow pupils.

The photos are uploaded in the photo widget. Pupils then check the temperature dependence of diffusion in student experiments the corresponding experimental instructions ("research assignment") can be called up in the document widget in the form of a pop-up. The experiment is documented both in writing in the note widget and visually in the photo widget. The photos can be taken directly using the photo widget and saved there automatically. Finally, the pupils will be asked to comment on the newspaper article "reduced water". For this purpose, an existing newspaper article was modified, made anonymous and given a new design for a newspaper article on the "Lehrerfreund"-website. This is opened via a pop-up. The pupils use their knowledge of the small particles to critically assess the contents of the article orally in the plenary session.

4. Research

The research is based on the cognitive development of the students through the Multitouch Learning Book. It was investigated whether significantly when working with the Multitouch Learning Book 'The Particle Model'. By examining cognitive development, it is determined whether the materials have been designed in such a way that the pupils have understood and internalized the contents. If a significant cognitive improvement occurs with the help of the Multitouch Learning Book, this suggests an individualization through the e-book, as not only the stronger pupils experience an increase in performance, but also the weaker ones.

4.1. Design

A two-group comparison plan with pre- and post-test was carried out for both studies. For this purpose, an independent questionnaire was developed, which was used in an 8th class middle school. The class is an iPad class

that works according to the 'BYOD' principle. The class originally consisted of 16 students, with one student leaving during the investigation. Thus, the test was carried out with 15 test persons. The control group worked with analogous materials for which the tasks from the Multitouch Learning Book were prepared in an analogous way. This class, which is taught at the same school as the experimental group, consisted of 27 students, with only 24 having completed the pre- and post-test. The two classes were taught by different teachers and at different times. The series of lessons in the iPad class was held from 23 October to 20 November 2017, with no chemistry lessons in one week due to a holiday. The control group carried out the series of lessons from 30 November 2017 to 12 January 2018, with the completion of the questionnaires not taking place until 19 January. Two weeks of Christmas holidays were spent during these lessons. In both classes, chemistry classes were taught in double lessons. The evaluation is carried out by means of a two-sided T-test with the same variance and a significance level of 5%.

4.2. Results

Table 1 shows the results of the control group cognition test. It can be seen that the mean value of the correct results in the pre-test is higher than in the experimental group. This suggests that the control group had more prior knowledge than the experimental group before the series of lessons.

Table 1. Statistic Values of the cognition tests. EG = Experimental Group, CG = Control Group

	Pre-Test EG	Post-Test EG	Pre-Test CG	Post-Test CG
Average	5.375	9.000	6.687	8.681
Standard Deviation	1.615	1.317	1.434	2.222
t-Value	-6.5989		-3.7046	
p-Value	0.0000003		0.000457	
Cohen's d	1.2254		0.535	

However, the mean value of the re-test is higher in the experimental group than in the control group. This means, on the one hand, that the experimental group has experienced a greater increase in performance than the control group and, on the other hand, that the cognition after the series of lessons is greater in the experimental group than in the control group. Figure 9 illustrates this relationship. The standard deviation of the control group's re-test is significantly higher than that of the experimental group. The effect strength of the control group is also large, but significantly lower than the effect strength of the experimental group. The available results suggest that the experimental group experienced a greater learning gain than the control group. However, various factors must be taken into account that can influence the results. On the one hand, the classes were taught by different teachers, which means that the subject matter was taught to them in different ways. On the other hand, the lessons were held at different times. In the control group, the series of lessons was started before the two-week Christmas break and only then completed. It

can be assumed that during this time the pupils forgot about the contents of the series of lessons, which would have a negative influence on the result of the re-test compared to the experimental group. Another important factor is the small test person size.

In order to obtain clearer results, the test person size would, therefore, have to be increased significantly. However, the difference in effect strength between the experimental group and the control group is so large that the hypothesis can be confirmed: It can be assumed that the use of Multitouch Learning books increases cognition.

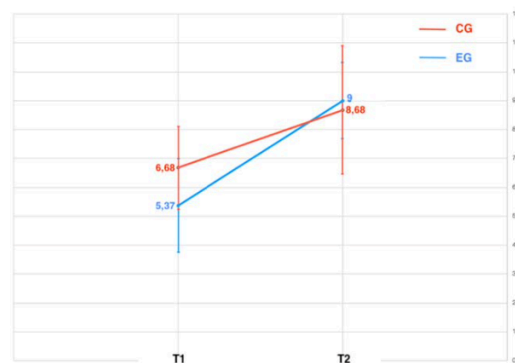


Figure 8. Results of the cognitive testing

5. Conclusion

In the course of the 'digital revolution', the use of digital media in schools is becoming increasingly important. Furthermore, diversity with the demand for inclusion and differentiation is a central aspect of school education. Digital media offer various possibilities to meet this requirement. The use of digital media in the classroom, using the tablet as an example, offers many possible applications from both, a technical and an individual point of view. In addition to mobility and multimedia in conjunction with suitable software, digital media offer various implementation options with regard to inclusion and, in addition, individual and cooperative learning opportunities can be used. In this work the tablet was introduced as a tool to design and enrich the lessons with the learning guide Multitouch Learning Book. The Multitouch Learning Book is an e-book with integrated multimedia content that can replace both the classic exercise book and the textbook in class. The e-book can be available in a changeable or non-changeable version. The changeable variant offers the possibility to adapt the contents to a class, regional conditions or current developments. With regard to individual support in the classroom, they are characterized by their flexibility with regard to the variety of media and methods. It offers possibilities to integrate different analog and digital media and contents into the book, but also different types of tasks and help. In particular, the integration of dynamic visualizations and animations help students to clarify explanations of processes at particle level. Such animations and videos can be adapted to the individual learning pace and can be used at any time as repetition or

preparation. This results in options that are selected according to the respective interests and strengths and thus promote self-determination, which in turn increases and promotes motivation. In addition, different presentation possibilities can be combined and tasks at different levels of difficulty can be offered. Assistance can also be used in a targeted manner and made available in a stepped form. Furthermore, it is possible to realize non-linear learning paths, which can be designed individually by the students. In the out-of-school learning environment, such as a student laboratory, the Multitouch Learning Book can create a network to the formal teaching content and offer opportunities for differentiation. The Multitouch Learning Books were designed to support research-based experimentation in experimental phases and to promote not only high-performing but also, in particular, low-performing students. Since the materials also allow differentiation within small learning groups, each student can contribute individually to the research process. Teachers can therefore increasingly take on the role of learning guides and offer targeted support. Based on the implementation of the Multitouch Learning Book The particle model in the iPad class of a Saarland high school can be confirmed that the pupils accept and use this form of materials and the associated individualization possibilities. Not only the high student participation, but also the results of the cognition test, which showed a greater increase in learning than that of the control group, illustrate the successful individual promotion with the help of the Multitouch Learning Book. Since the e-books presented can be modified, they can always be adapted to the respective learning group by implementing more or less differentiation options if necessary. It should also be noted, however, that the use of self-designed multitouch learning books also has its limits and risks. For example, it is currently not possible to integrate students' own videos into the Multitouch Learning Books using the programs and platforms described. However, this would offer added value, especially for the documentation of experiments.

The use of Multitouch Learning Books is not only conceivable in the initial chemistry lessons, but also in the middle and high school. In view of further research, it makes sense to test further widgets and programs. Possible applications include the integration of digital panel images, digital data acquisition, augmented reality or presentation programs such as Prezi. To this end, further platforms for creating additional widgets should be tested and compared with the programs presented in this paper. One possibility to design the widgets completely individually is independent programming. To help teachers create multitouch learning books, an 'education cloud' could help. This is developed by external authors and made available to the teachers. Since the modules and contents are assembled individually, the materials can be adapted to the respective class.

References

- [1] Welling, S. (2017). Methods matter. Methodisch - methodologische Perspektiven für die Forschung zum Lernen und Lehrer mit Tablets. In J. Bastian & S. Aufenanger (Eds.), *Tablets in Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und -perspektiven zum Einsatz digitaler Medien* (pp. 15-36). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [2] Meister, D. M. (2013). Vermittlung von Medienkompetenz in der Praxis für Kinder und Jugendliche. In Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (Ed.), *Medienkompetenzförderung für Kinder und Jugendliche. Eine Bestandsaufnahme* (pp. 69).
- [3] Eilks, I., Krilla, B., Flintjer, B., Möllencamp, H. & Wagner, W. (2004). Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute - Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht. *Chemkon*, 11(3), 121-126.
- [4] Krause, M. & Eilks, I. (2014). Tablet-Computer als Unterrichtswerkzeug für Lehrkräfte. In J. Maiton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Eds.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (pp. 64-69). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [5] Aufenanger, S. (2014). Bericht zur Wissenschaftlichen Begleitforschung des Projekts „Tablet-PCs im Unterrichtseinsatz“ in vier Wiesbadener Schulen im Auftrag des Schulamts der Stadt Wiesbaden. Wiesbaden/ Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz. http://pads.wiesan.de/wp-content/uploads/aufenanger_bericht_begleitforschung_projekt_ipa_ds_wiesbaden_0314.pdf.
- [6] Aufenanger, S. (2017). Zum Stand der Forschung zum Tableteinsatz in Schule und Unterricht aus nationaler und internationaler Sicht. In J. Bastian & S. Aufenanger (Eds.), *Tablets in Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und -perspektiven zum Einsatz digitaler Medien* (pp. 119-138). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [7] Abels, S. (2013). Differenzierung und Individualisierung. Individuelle Lernvoraussetzungen als Orientierung für die Unterrichtsplanung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 135, 31-35.
- [8] Markic, S., Wichmann, J., Affeldt, F., Siol, A. & Eilks, I. (2017). Promoting education for sustainability for all learners by non-formal chemistry laboratories. *Daruna*, 44, 44-53.
- [9] Markic, S. & Abels, S. (2016). *Science education towards inclusion*. New York: Nova Publishing.
- [10] Degener, T. (2016). Völkerrechtliche Grundlagen und Inhalt der UN BRK. In T. Degener, K. Eberl, S. Graumann, O. Maas & G. K. Schäfer (Eds.), *Menschenrecht Inklusion* (pp. 11-51). Göttingen et al.: Vandenhoeck & Ruprecht.
- [11] Ulrich, N. (2017). E-Books – Potentiale für den Umgang mit Diversität. In S. Schanze & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp.71-80). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [12] Francia, G. (2013). The impacts of individualization on equity educational policies. *New Approaches in Educational Research*, 2(1), 17-22.
- [13] Bönsch, M. (2009). *Erfolgreiches Lernen durch Differenzierung im Unterricht*. Braunschweig: Westermann.
- [14] Paradies, L. & Linser, H. J. (2010). *Differenzieren im Unterricht* (5. edition). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- [15] Johnson, D.W. & Johnson, R.T. (2014). Cooperative Learning in 21st Century. *Anales de psicologia*, 30(3), 841-851.
- [16] Huwer, J. & Brinken, J. (2018). Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. *Computer + Unterricht*, 110 (30), 7-10.
- [17] Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXPLAINistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 42-46.
- [18] Huwer, J. & Eilks, I. (2017). Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung. In S. Schanze & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 81-94). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [19] Ulrich, N. & Schanze, S. (2015). Das e-Chem-Book. Einblicke in ein digitales Schulbuch. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 145, 44-48.
- [20] Affeldt, F., Meinhard, D. & Eilks, I. (2018). The Use of Comics in Experimental Instructions in a Non - formal Chemistry Learning Context. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6 (1), 93-104.
- [21] Ulrich, N., Richter, J., Scheiter, K. & Schanze, S. (2014). Das digitale Schulbuch als Lernbegleiter. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Eds.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (pp. 75-82). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [22] Garner, N., Hayes, S.M. & Eilks, I. (2014). Linking formal and non-formal Learning in Science Education – a reflection from two cases in Ireland and Germany. *Journal of Education*, 2(2), 10-31.

- [23] Kordes, R. (2015). Elektronische Schulbücher: Potenziale für den Einsatz im Unterricht. Hamburg: Diplomica.
- [24] Witteck, T., Krause, M. & Eilks, I. (2016). Lernumgebung „Teilchen“. http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/multimedia/lernumgebung_teilchen/index.html.
- [25] Eilks, I., Möllering, J., Leerhoff, G. & Ralle, B. (2001). Teilchenmodell oder Teilchenkonzept? Oder: Rastertunnelmikroskopie im Anfangsunterricht. *Chemkon*, 8(2), 81-85.
- [26] Eilks, I & Krause, M. (2015). Neue Wege zum Teilchenkonzept 2.0. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 64(3), 34-37.
- [27] Huwer, J., Seibert, J. & Brünken, J. (2018). Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- [28] Amany Annaggar, A., Tiemann, R., (2017). Video Game Based Gamification Assessment of Problem – solving Competence in Chemistry Education. *ECGBL*
- [29] Hilton, Annette (2010). Digital technologies and multimodal communication in the chemistry classroom PhD Thesis, School of Education, The University of Queensland.
- [30] Markic, S., Eilks, I., di Fuccia, D., Ralle, B. (2012). Heterogeneity and cultural diversity in science education and science education research, Aachen: Shaker, P. 239
- [31] Peraza-Garzón, J. F., Estrada-Lizárraga, R., Zaldivar- Colado, A., Mendoza-Zatarain, R., del Carmen Olivarría-González, M., Zaragoza González, J. N., Cobián-Campos, J.A. (2013). Implementation of “iBooks Author” on the development of learning objects on blended learning education. *INTED2013 Proceedings*, pp. 6320-6325.
- [32] Ulrich N. & Huwer, J. (2017). Digitale (Schul-)Bücher – Vom E-Book zum Multitouch Learning Book. In S. Schanze & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp.63-70). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

2.3.2. Verknüpfung von Lernwerkzeug, Lernbegleiter und Experimentalwerkzeug in einem Multitouch Learning Book

Neben dem modularen Charakter eines Multitouch Learning Books können auch verschiedene didaktische Funktionen innerhalb eines Lernbegleiters implementiert werden. Kern des interaktiven eBooks bildet im folgenden Beispiel eine Unterrichtsreihe zum Thema Galvanik in der Oberstufe. Innerhalb dieser Lerneinheit sollen die Schüler*innen erlernen, wie ein galvanisches Element aufgebaut ist, eine herkömmliche Batterie funktioniert und das Ordnungsprinzip der elektrochemischen Spannungsreihe erklärt werden kann.

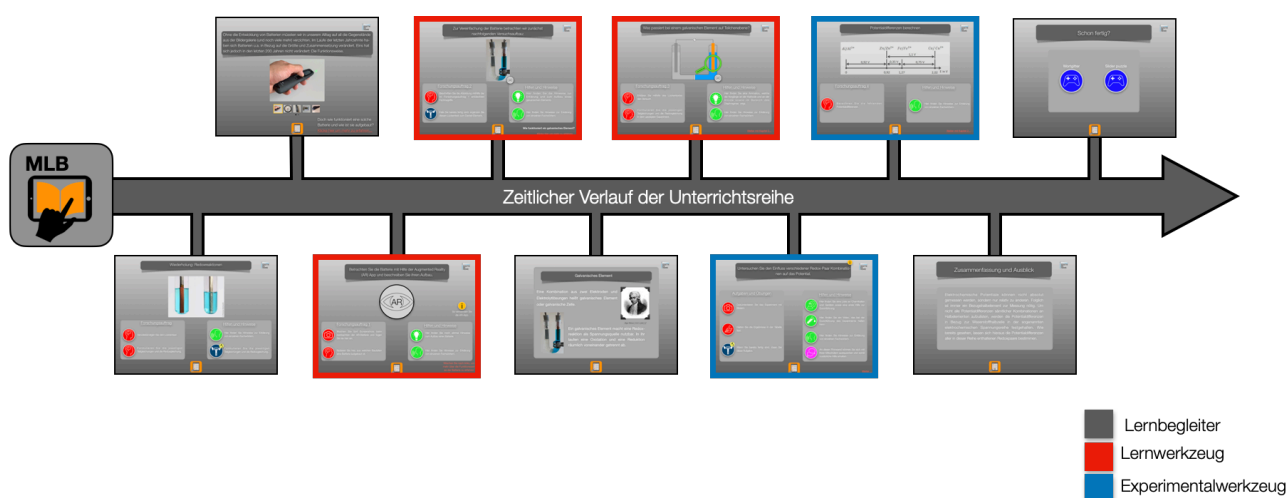


Abbildung 8 Integration verschiedener Betriebsmodi innerhalb eines Multitouch Learning Books in Form eines interaktiven eBooks inklusive Augmented Reality- und Messwerterfassungsschnittstelle

Grundlage für die Implementierung aller drei didaktischer Funktionen digitaler Medien im Chemieunterricht (siehe Kapitel 2.2) muss eine Unterrichtsreihe sein, bei der sich genau diese drei Aspekte anbieten. Innerhalb der in diesem Abschnitt beschriebenen Lehr-Lernsituation wurden Augmented Reality Anwendungen als digitales Lernwerkzeug integriert, um Teilchenprozesse „sichtbar“ zu machen, die alternativ nur theoretisch thematisiert werden könnten. An dieser Stelle werden wieder die Vorteile von Augmented Reality ausgenutzt, indem die AR als digitales Werkzeug neue Wege der Visualisierung und Dynamisierung von Teilchenprozessen ermöglicht. Im Zusammenhang mit einem LowCost Versuch zur elektrochemischen Spannungsreihe wurden 3D-gedruckte Halbzellen entwickelt, in denen mit Hilfe einer integrierten Messwerterfassung im eBook experimentiert werden kann. Somit lassen sich alle drei didaktischen Funktionen in dem digitalen Medium kombinieren (siehe Abbildung 8). In dem interaktiven Lernbegleiter wurden ebenfalls für Schüler*innen entsprechende individualisierte Hilfestellungen und differenzierende Aufgaben entwickelt und wie in Kapitel 2.1 beschrieben integriert.

Publikation G:

Linking Learning Tools, Learning Companion, Experimental Tools in a Multitouch Learning Book

Johann Seibert¹, Matthias Marquardt², Sarina Pinkle³, Aline Carbon⁴, Vanessa Lang¹, Katrin Heuser¹, Franziska Perels⁵, Johannes Huwer⁶, Christopher W.M. Kay¹

Eingereicht am 05. Januar 2020

Angenommen am 14. Februar 2020

Publiziert am 05. März 2020

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Matthias Marquardt, Sarina Pinkle, Aline Carbon, Vanessa Lang, Katrin Heuser, Franziska Perels, Johannes Huwer, Christopher W.M. Kay, World Journal of Chemical Education, 2020, 8(1), 9-20.

Copyright © 2020, Science and Education Publishing.

DOI: 10.12691/wjce-8-1-2

Eigener Anteil am Manuskript:

- Schreiben des Manuskripts
- Essenzieller Beitrag bei der Entwicklung der Methode und des Materials

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Realschule plus Kell am See, Schulstraße 12, 54427 Kell am See

³Grosser - Schulzentrum, Gymnasium am Alfred

⁴Integrierte Gesamtschule Contwig

⁵Universität des Saarlandes, Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

⁶Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book

Johann Seibert^{1,2,*}, Matthias Marquardt¹, Sarina Pinkle³, Aline Carbon⁴, Vanessa Lang¹,
Katrín Heuser¹, Franziska Perels⁵, Johannes Huwer², Christopher W. M. Kay^{1,6}

¹Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, University of Saarland, 66123 Saarbrücken, Germany

²Chemistry and Chemistry Education, University of Education Weingarten, 88250 Weingarten, Germany

³Gymnasium im Alfred, Grosser - Schulzentrum, 76887 Bad Bergzabern, Germany

⁴IGS Contwig, 66497 Contwig, Germany

⁵Department of Educational Sciences, University of Saarland, 66213 Saarbrücken, Germany

⁶London Centre for Nanotechnology, University College London, London WC1H 0AH, 17-19 Gordon Street, UK

*Corresponding author: johann.seibert@uni-saarland.de

Received January 05, 2020; Revised February 14, 2020; Accepted March 05, 2020

Abstract Multitouch Learning Books (short: MLB) are digital interactive E-Books that can be used in class enriched with individual tools. Due to their multifunctionality, they offer an excellent framework for integrating further didactic functions exceeding the role of a learning companion. In this study a Multitouch Learning Book was developed which contains all three didactic functions of ICT (Information and Communication Technology). The MLB provides the digital framework for the series of lessons and accompanies the entire learning process. Learning tools include isolated applications, Augmented Reality and measured data logging, which fulfills the didactic function of an experimental tool. The topic "galvanic cell" was implemented and tested in two different classes. The intervention resulted in unanimously positive feedback from teachers and pupils alike

Keywords: ICT, science education, digital media, chemistry education, middle school, high school, Multimedia Learning, Multitouch Learning Book

Cite This Article: Johann Seibert, Matthias Marquardt, Sarina Pinkle, Aline Carbon, Vanessa Lang, Katrin Heuser, Franziska Perels, Johannes Huwer, and Christopher W. M. Kay, "Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book." *World Journal of Chemical Education*, vol. 8, no. 1 (2020): 9-20. doi: 10.12691/wjce-8-1-2.

1. Introduction

Media diversity is a frequently discussed topic in classroom development. In the age of digitalization and increasing media equipment in schools, there is an increasing demand for suitable and didactically reflected digital materials. The materials, presented below, refer to current didactic research and combine it with digital competences [1] and the functions of digital media in chemistry teaching [2]. As discussed by Seibert, Kay and Huwer [3], ICT can be used in different functions in science education (learning tools, learning companions, experimental tools). Because of heterogeneous and diverse classrooms, ICT often fulfills more than one function. This article focusses on Multitouch Learning Books, which structures the learning process in lessons and includes learning tools and experimental tools.

2. Galvanic Cells: A Unit in a Multitouch Learning Book

The topic of galvanic cells is covered in the presented teaching curriculum: The pupils should be able to describe

and explain the structure and function of a galvanic cell. They should have the ability to identify the necessity of a reference half-cell by means of a test series and thus be able to draw conclusions about the electrochemical series. Using a Multitouch Learning Book, pupils practice working independently with digital media. In addition, the initial focus is on developing a problem question about how a battery works by naming the components of a battery using the Augmented Reality app. The aim of this preliminary exercise is to name and assign the components of a galvanic cell. Based on this, the pupils should be able to explain the functionality of a galvanic cell at the particle level and explain the necessity of a diaphragm. To secure this knowledge, pupils formulate partial equations and the redox equation of the Daniell element. In order to deepen the acquired knowledge, pupils conduct experiments to combine given half cells and determine the resulting voltages. The measured results are documented in the Multitouch Learning Book. The measured results are documented in the MLB and explained by means of the electrochemical series and the solution tension. In this way, the different voltage measured values can be compared and correlations can be established between them. By collecting data in the MLB, the measured values can be quickly and elegantly compared with the literature

values and deviations can be justified. Further expected voltage values can now be calculated from this knowledge.

2.1. Learning Companion Content

The Multitouch Learning Book as a learning companion combines all materials of the series in one book. The MLB accompanies the learning process throughout the entire three-week course. Depending on the hardware of the school, the pupils can take the Multitouch Learning Books home with them.

This E-Book follows a linear learning process [4]. The teacher instructs the individual teaching sequences and accompanies the pupils' learning. There are no non-linear learning paths, as a structured learning path was assumed at the beginning of the book design. This also means that the E-Book cannot be completely used in class without instruction. In contrast to conventional materials the presented material only includes a short instruction by the teacher to open the learning path and activate learning processes. The developed digital materials contain many pupil-centered tasks and activities. As mentioned above, only the learning initiation is teacher-centered. However, the E-Book also includes pupil activities, meaning that a continuous cognitive and motivational learning process is promoted among the pupils.

2.1.1. Multitouch Learning Book to Frame the Unit

The Multitouch Learning Book forms the framework for the series of lessons on the subject of the galvanic cell. The interactive E-Book contains five chapters:

Chapter 1: Repetition of redox reactions to activate prior knowledge

Chapter 2: Discussion of the battery as an example of the galvanic cell and transfer to the Daniell element

Chapter 3: Pupil experiment on the potential difference of different half-cells

Chapter 4: Serious Games for the individual promotion of pupils as a buffer in the respective lesson

Chapter 5: Feedback page for pupils for the evaluation of the materials

Within these five chapters all three didactic functions of ICT can be found. The MLB is the learning companion that combines the individual lessons and unites them in a meaningful way. In the following chapter, the digital materials and the corresponding teaching series are described in detail.

2.1.1.1. Chapter 1: Repetition and Prior Knowledge Activation

In the first lesson of this class the pupils have to recollect their knowledge from past lessons about redox equations. In two short exercises they pupils find the correct order of rules to setup a redox equation. The second exercise contains an experiment known to pupils from past lessons where the pupils should repeat and redo the respective partial equations and the total redox equation. In addition, well-known technical terms are offered in a reference field in order to promote the use of scientific language in class.

Equipped with this knowledge, pupils progress to the actual series of lessons.

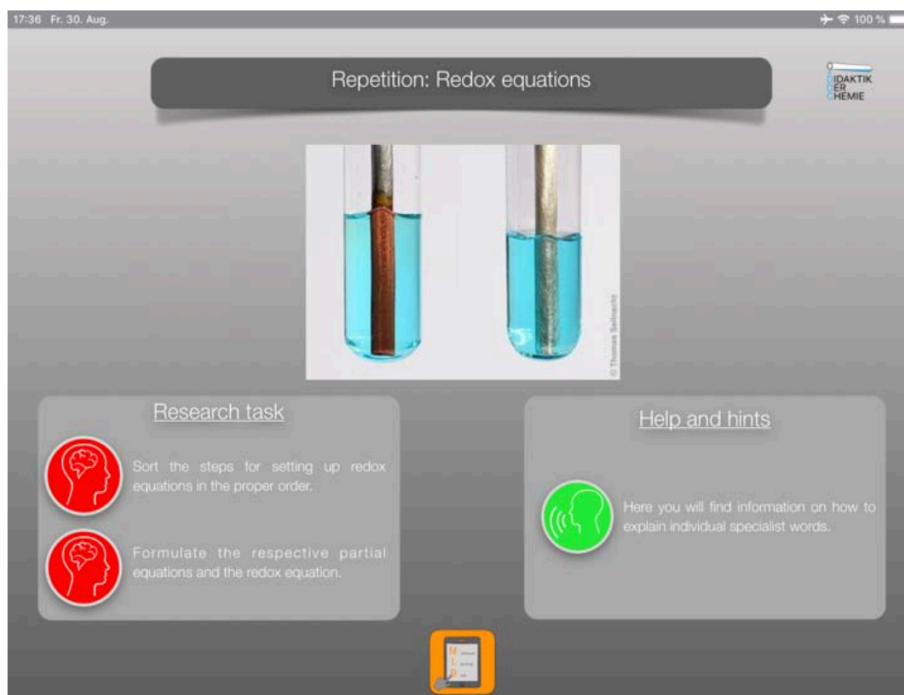


Figure 1. Chapter 1: Repetition and prior knowledge activation



Figure 2. Chapter 2: Introduction book page

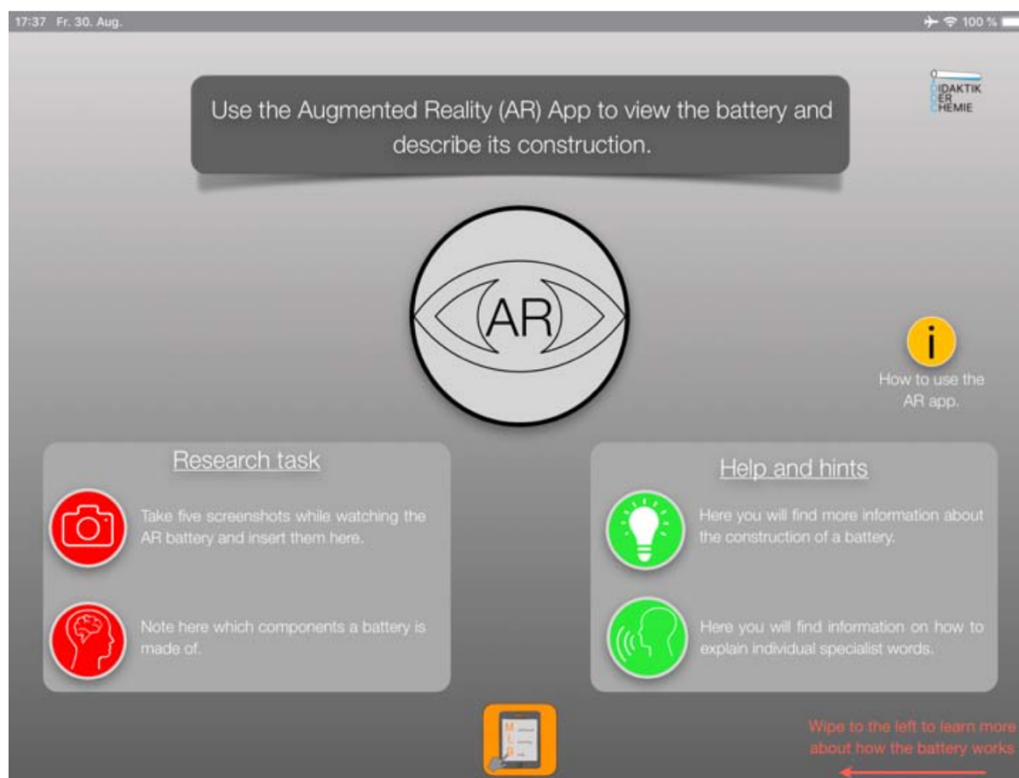


Figure 3. Chapter 2: The battery and the AR-tool

2.1.1.2. Chapter 2: The Battery as a Galvanic Cell

This chapter focuses on the development of the galvanic cell in general. As an introductory topic, the battery and its relevance to the pupils' everyday life is covered. A gallery with pictures of various everyday objects highlights the importance of the battery as a part of those objects (see Figure 2). On the basis of this

knowledge it will be explained how a battery works and by which principle it functions. After highlighting the relevance of the battery, its operating principle is explained.

In this section, the tablet is used as a learning tool in the form of Augmented Reality (see Section 3.2) in order to better understand the structure and function at macroscopic and microscopic level.

Linking these digital materials aims at assisting pupils to comprehend the functionality of a battery (see Figure 3). As observing the inside of a battery is impossible due to safety reasons, a digital model of a mono-cell is augmented by the tablet.

On this page of the E-book, pupils are offered help to facilitate the use of the app/to ease the use of the app and language support to formulate the explanation of the experiment.

The first task for the pupils is to document the virtual battery by taking five pictures. The second task is to insert the terms explored for the individual components in an interactive sketch (see Figure 4). The purpose of this unit is to introduce the various components of a battery and their technical terms in order to apply them to general examples in the following sections. In this case, this simplified example of a galvanic cell represents the Daniell element, which will be used further below.

On the next page of the book, the Daniell element is introduced as a simplified description of the functionality of a galvanic cell (see Figure 5). The experiment is demonstrated by the teacher and explained by the pupils. At this point AR materials are integrated again. This integration leads to a conscious pupil activation during a teacher demonstration experiment. Using the AR app, the

components of a Daniell element can be viewed by the pupils on the tablet or be displayed by the teacher using a projector (detailed description see section 3.2). Here the pupils should be able to link the previously developed terms to the components of the battery and identify the Daniell element as a simplification of a mono-cell in their half-cells. To secure their knowledge, pupils complete a task to add technical terms to a sketch of a Daniell element (see Figure 6).

Up to this point, the components of a galvanic cell, in particular the battery and the Daniell element, are only explained on a macroscopic level. The focus of the next page of the book is on the microscopic level of the processes. On the next page of the book, the focus will be on this observation (see Figure 7). The next page includes two tasks as its primary content, the first being a cloze describing the functionality of a Daniell element. The focus is on the most important chemical terms. The cloze also includes technical terms the pupils are already familiar with in order to initialize a curricular linking of knowledge. The second task requires the pupils to establish the partial equations of the two half cells and the total equation of the redox reaction. The page also contains aids to assist comprehension and language support to promote the correct use of chemical terms

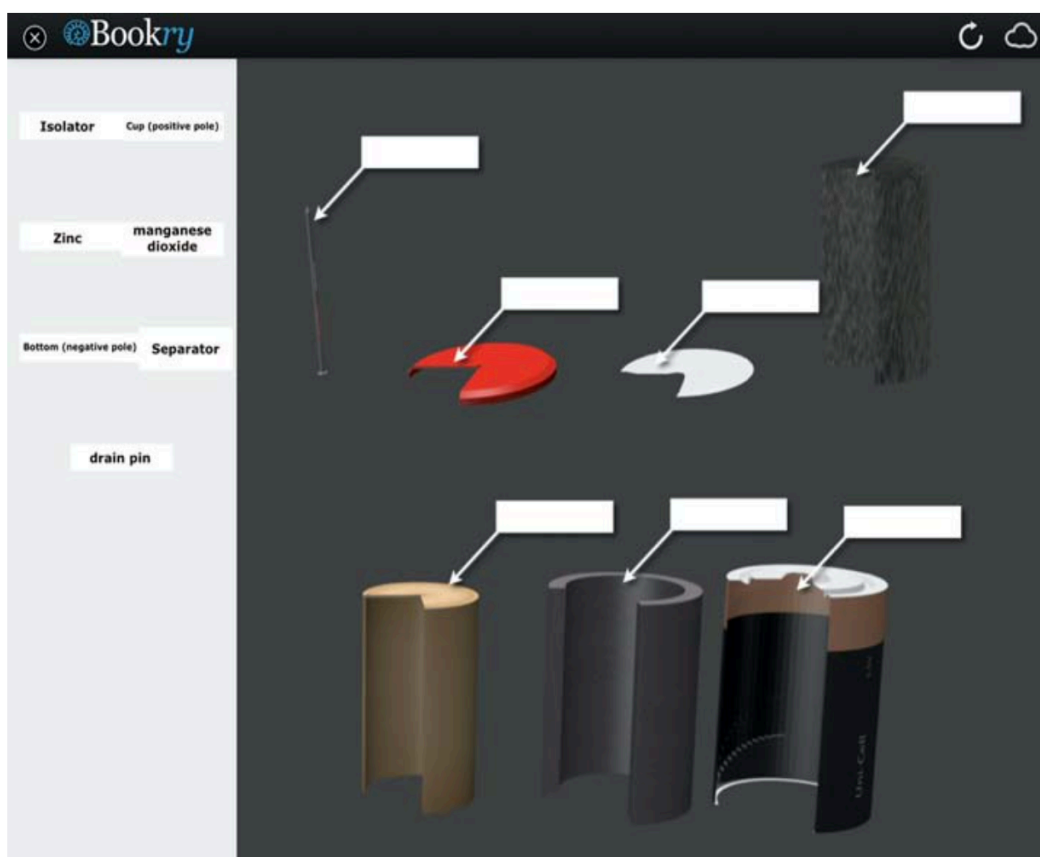


Figure 4. Chapter 2: Task to sort the components of a battery



Figure 5. Chapter 2: Introduction of a Daniell element

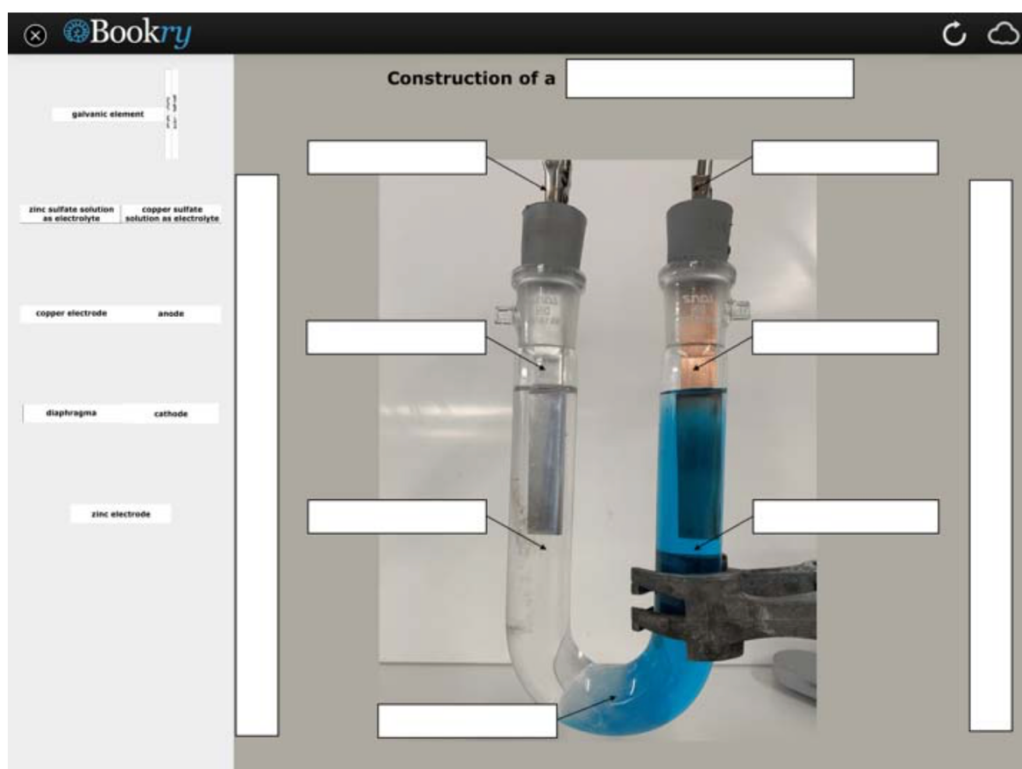


Figure 6. Chapter 2: Task to sort the components of a Daniell element

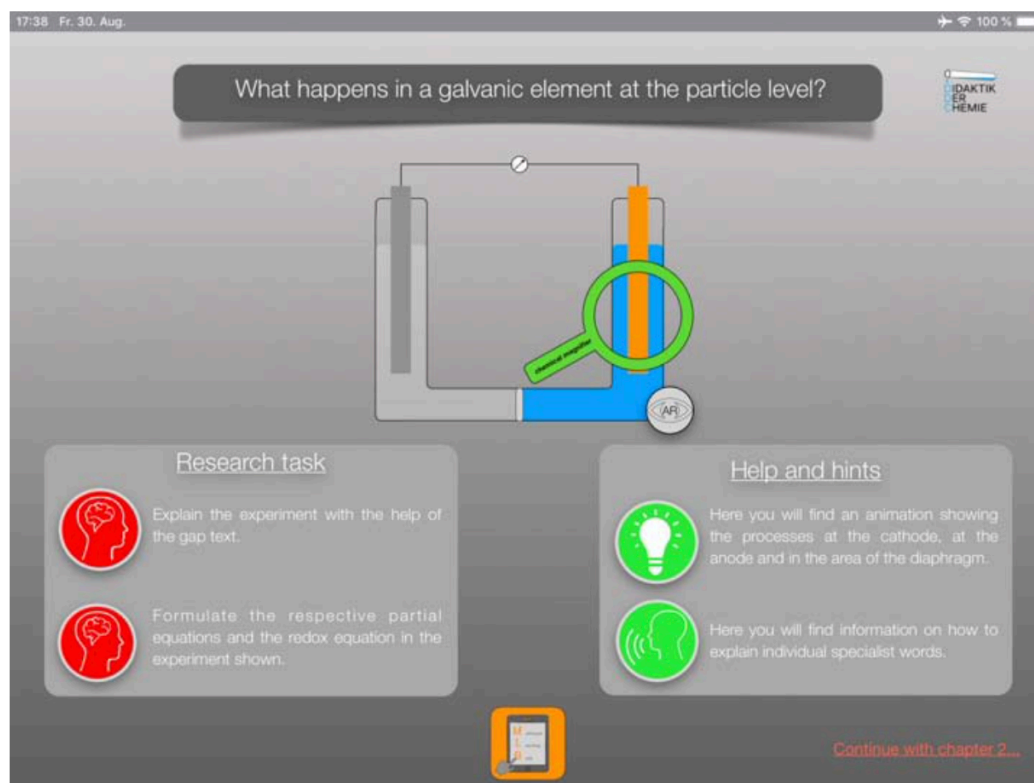


Figure 7. Chapter 2: Microscopical level in a Daniell element

In this case, the pupils' comprehension is assisted by an animation that visualizes the two processes in the half cells on a microscopic level. In addition, an AR application is available for the pupils, which augments the processes into the real object (see chapter 3.2).

2.1.1.3. Chapter 3: Pupil Experiment about the Potential Difference

With the help of the knowledge from the first two chapters, the experiment is carried out in chapter 3 (see Figure 8). Different half cells are tested against each other and the respective potentials are measured. For this experiment, self-made 3D-printed half cells are available with which the pupils can experiment independently in small groups (see section 3.3.2). The aim of this sequence is to enable the pupils to measure different voltages in order to sequence the different metals (here: aluminum, copper, zinc and iron) and thus to predict further reactions. This serves as a transition to cover the topic of the electrochemical series.

This experiment must also be documented and explained. Up to five pictures of the experiment should be taken for documentation purposes. At this point, the learning companion is linked to an experimental tool, because the measured values are recorded with the help of an App, called Measure® by Phywe, and then transferred to the E-Book (see Section 3.3). After the results of the experiment have been documented, the findings must be explained. On the following page pupils find technical

vocabulary and a task for this purpose. In this exercise, the pupils should classify their results in a predefined grid and thus describe the occurrence of various potential differences (see Figure 9).

2.1.1.4. Chapter 4: Serious Games for a Better Differentiation in Class

Games in class? If games are used profitably in class, they are called Serious Games. Pupils are offered games that contain the chemical context. This is particularly suitable for differentiation in a class. Especially when experimenting, some pupils need more time due to their different abilities. This aspect is taken into account by encouraging fast pupils by offering Serious Games to consolidate their knowledge. In this book, there are included two different kinds of Games, shown in Figure 10. Likewise, these tasks offer to cognitive weaker pupils additional help and the opportunity to improve their skills. The use of playful aspects in lessons can also increase motivation [5].

2.1.1.5. Chapter 5: Pupil Feedback on the Materials

Since this method of teaching does not correspond to conventional teaching methods, it was important to find out how the pupils responded to dealing with the "new" materials in the course of the study. For this purpose, a feedback session was also implemented in the E-Book, allowing pupils to express their personal opinions on this type of teaching. The results of this evaluation are described in more detail in Section 4.



Figure 8. Chapter 3: Pupil-centered experiment with 3D-printed half-cells

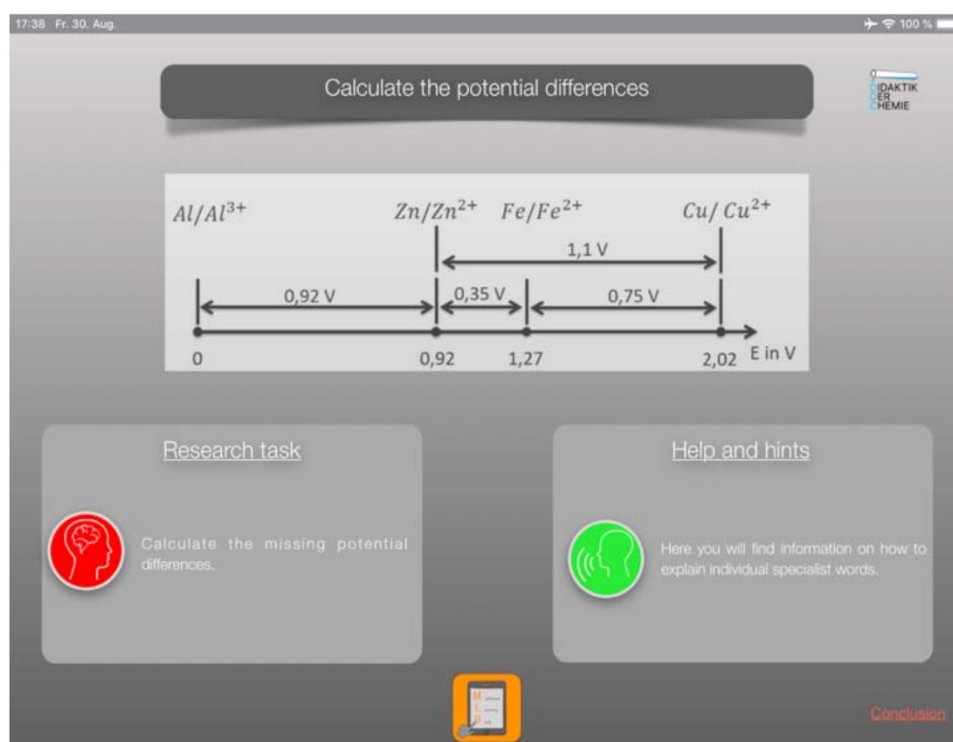


Figure 9. Chapter 3: Explanation of the pupil-centered experiment

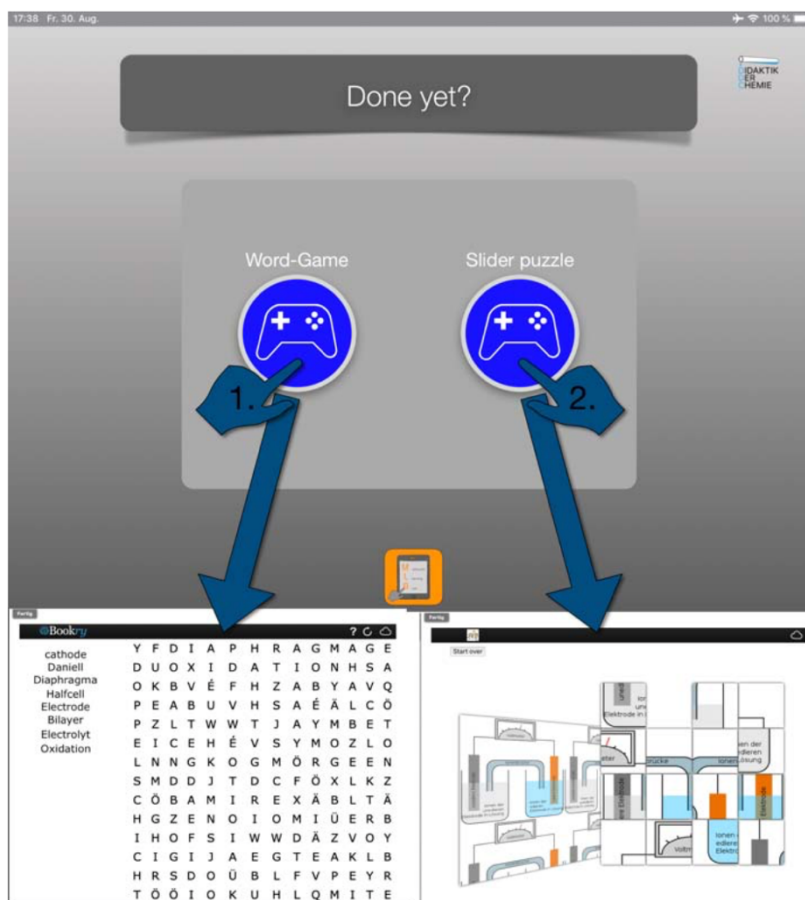


Figure 10. Chapter 4: Serious Games to promote differentiation in class

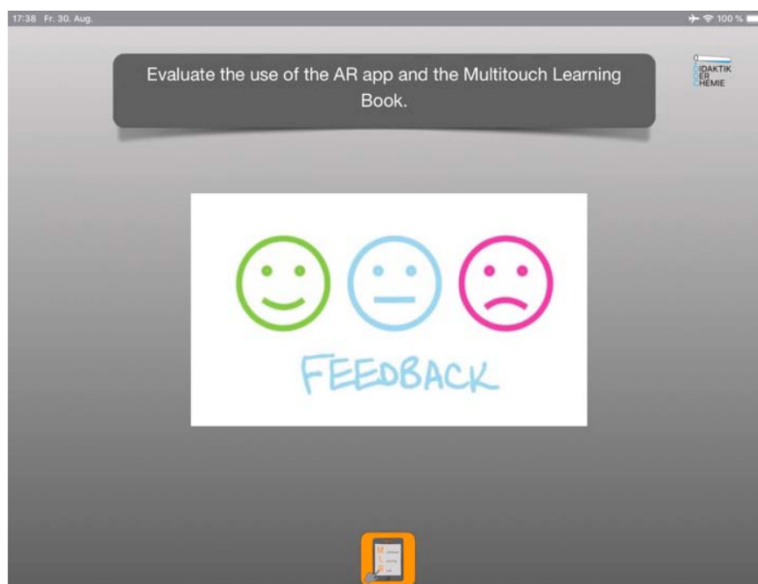


Figure 11. Chapter 5: Pupil feedback about the presented materials

2.1.2. Didactically Added Value of a Multitouch Learning Book

Multitouch Learning Books promote learning across an entire series of lessons. In this case, the entire series and especially several functions of ICT are anchored in one E-Book. This results in different added values for the lessons:

- More pupil-centered working phases in the classroom
- Active involvement of pupils in the classroom, including experiments performed by the teacher
- Individualized textbooks
- Differentiation possibilities in the classroom
- Structured use of different digital methods

In summary, it can be said that the use of a MLB can provide the structural and content framework to combine different functions of digital media. In this context, it is important to ensure that the content of digital materials is presented in a way that is appropriate for the addressees.

2.2. Learning Tool Content

The contents, which are used in a particular classroom situation, promote the current learning process. In the teaching unit described in the previous section, individual learning tools are specifically implemented for this purpose. Individual situations are enriched with Augmented Reality materials in order to initiate the development of selective cognitive processes.

2.2.1. Augmented Reality as a Chemical Magnifier

AR is currently used less frequently in chemistry lessons, although the coexistence of virtual and real objects offers various possibilities for teaching practice. AR itself differs from other techniques by its three characteristics, such as the linking of digital and real content, real-time interactivity and linking in three-dimensional space [6]. It is precisely this connection with positions in real space that allows digital content to be connected with the real objects themselves. The connection can be realized in different ways: Marker-based and image recognition-based triggers can be used in the classroom or to support pupils to conduct experiments. On this basis, experiments and their structure can be provided with site-specific information. This content can consist of static images, text, animations or videos. According to Johnston, chemistry contains three levels of representation, the macro-, submicro- and the representational level, of which only the macro-level can be perceived by the pupil. [7]. Augmented Reality offers the possibility to extend the experiment to the submicroscopic and representational level in order to provide an idea of chemical reactions at the particle level, or to gain insight into a black box such as the battery. A detailed description of the underlying didactic approach is included in the following section.

2.2.2. Didactically Added Value of Augmented Reality as a Learning Tool

It may be tempting to apply new techniques in the classroom for purely motivational reasons. However, the educational value of the technique is not in itself [8]. Under certain circumstances, the unreflected use of AR materials can even be a barrier. The simultaneous

consideration of the three levels according to Johnston would, for example, overload the workspace [7]. For this reason, AR cannot be used for many fast-moving experiments. In contrast, more static experiments would be suitable for AR-supported teaching material, as it would be possible to examine the different levels step by step.

The aim of the teaching series is the consideration of the galvanic cell and the electrochemical voltage series. Mahaffy extended the Johnston triangle by the human element to a tetrahedron [8]. As a context for the series of lessons and thus as an introduction to the topic, the mono cell is a good choice as it is a familiar example from everyday life. Pupils are able to view the sections of the battery they receive through the AR app on the iPad (see Figure 12). The form of representation of the battery can be changed via control elements. The composite battery is displayed as a rough sectional image as the start display. Using a control element, the battery can be dismantled into its components which are displayed with their technical terms. In order to be able to fall back on analogies in the later course of the series, a similar set-up to the galvanic cell is chosen. Due to this similar set-up, the functioning principle of each component is revisited at the end of the lesson series, integrating the newly acquired knowledge.



Figure 12. Augmented Reality mono-cell to explore the components

The subsequent attempt at the Daniell element was augmented in such a way that all three levels of the Johnston triangle are made visible to the pupil in a manner linked to the experimental set-up. The advantage of the Daniell element compared to other experiments is its static existence, giving pupils sufficient time to deal with the different levels of the Johnston Triangle one after the other. It is intended that at the beginning of the experiment the focus will be on the experiment, i.e. the observation on a macroscopic level, and the engagement with their prior knowledge. It is only in the second step that AR is added in order to explore missing technical terms on the representative level. Pupils who would otherwise fail to interpret the experimental results on the particle level benefit from the combination of macroscopic level and real experiment in AR: Part of the AR is the representation of the processes at the electrodes in the currentless state of the Daniell element (see Figure 13). In an implied "magnification", the pupils can observe how, depending on the electrode material, different numbers of cations dissolve, and form the Helmholtz double layer. Pupils which were previously unable to explain the occurrence of the voltage, can do so with the help of the AR. In this representation they have after the animation expired the

possibility to look at all three levels again in connection and to connect these levels again consciously with each other. After the animation expires, pupils are able to examine the three levels again which enables them to consciously connect those levels with each other. Apart from the experimental setup on the macroscopic level, the pupils observe the measured values on the symbolic level. The measured values in combination with the pupils' knowledge from physics serves to deduce which electrode is more negatively charged. Additional to the macroscopic and symbolic level, pupils engage with the submicroscopic level by observing the animation of the electrode from which cations go into solution (see Figure 14).

As described at the beginning, AR as a technology has no added didactic value in itself. However, the development itself took place along the contents of the teaching series and thus with consideration of the competences in the digital world to be acquired. So, in combination with the other didactic functions of the tablet, a didactic added value can be attributed to this AR within the teaching series.

2.3. Experimental Tool Content

In the process of creating these materials it becomes important to combine all three functions of digital media with each other. The third function "the experimental tool" describes the function of a tablet during active experimentation. In this case, the tablet is used to record measured values. For this purpose, the App Measure® from Phywe is used. The values measured in this way can then be entered into the MLB and subsequently evaluated. In addition to the use of digital data logging, this pupil-centered experiment uses 3D-printed materials.

2.3.1. Didactically added value of digital data logging

The didactic functions defined by Huwer and Seibert (2017) allow for mixed forms. In this article, the tablet is described as an experimental tool, depending on the design of the experimental set-up, but at the same time cognitive learning processes are initiated and supported, which is why the experimental tool cannot always be separated from the learning tool:

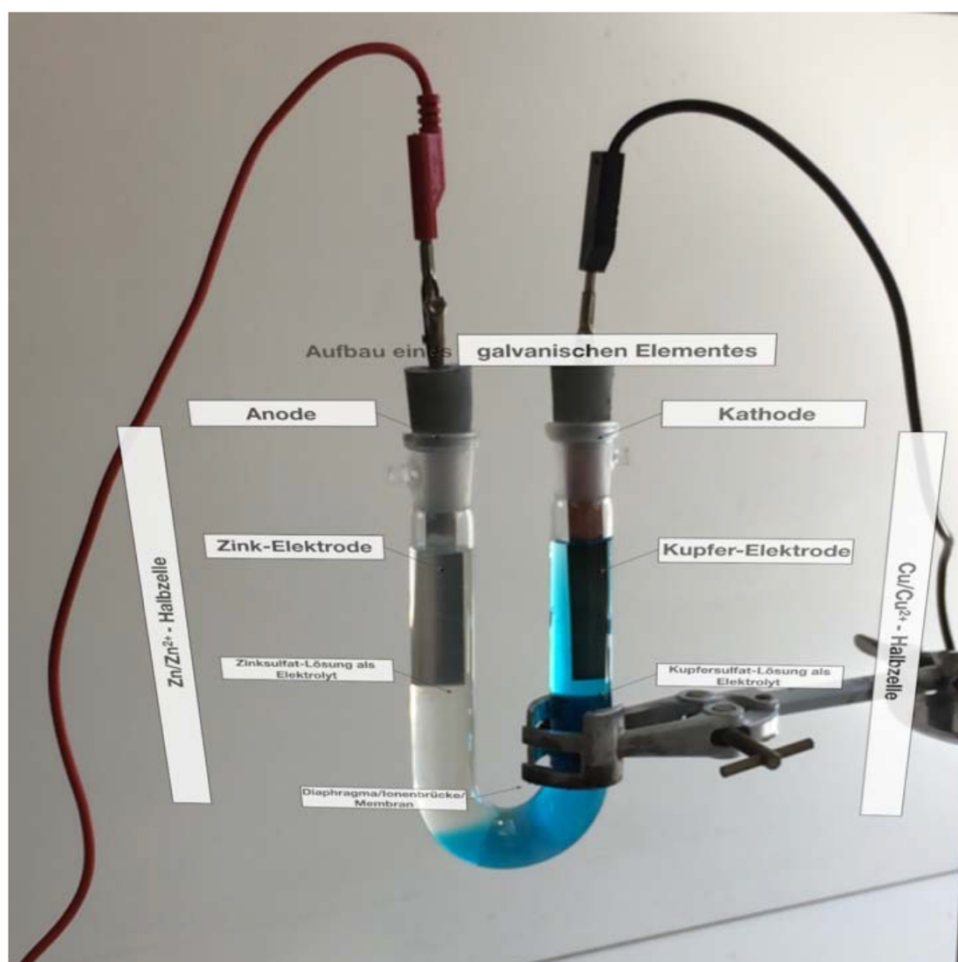


Figure 13. Augmented Reality of the components of the Daniell element on microscopic level



Figure 14. Augmented Reality of the microscopic level in a Daniell element

Even if the tablet is used as a tool for data processing only, because the data is logged by the pupil it is visually processed which includes cognitive processes.

Even if the tablet is used as a tool for data processing only, cognitive processes take place because the data logging by the pupil requires visual processing. This processing to support learning situations is part of the function as a learning tool. If considering the simultaneous processing of measured values or the calculation of other quantities from the measured values, the tablet is more of an experimental tool at the moment.

2.3.2. Didactically Added Value of 3D-printed Materials in Chemistry Lesson

Low Cost materials are particularly suitable for pupil experiments. In the course of this work, 3D-printed half cells were prepared in such a way that they can be used in experiments as often and variably as desired. For this purpose, four metals were inserted into the provided opening and fixed with hot glue. The corresponding salt solutions were filled into the small cubes (6 mL solution in each box).



Figure 15. 3D-printed Low Cost half-cells for a pupil-centered experiment

Magnets were installed on two sides, so that the half cells hold together like in a modular system.

3. Findings

The presented teaching unit was used and tested in two classes. A total of 49 pupils took part in the test. Individual statements were taken from the oral feedback of the pupils:

1) Feedback of the pupils:

- Helpful in complicated situations and experiments through the illustration by videos (“Hilfreich bei komplizierten Sachverhalten und Versuchen durch die Veranschaulichung durch Videos”)
- Provided variety in the lessons (“Abwechslungsreich im Unterricht”)
- More motivating than gap-fill activities on paper (“Motivierender als Lückentext auf Papier”)
- as fun to work with something new (“Es hat Spaß gemacht mit etwas Neuem zu arbeiten”)
- I felt more like interacting with the content in chemistry class. (“Ich hatte mehr Lust mich mit dem Inhalt im Chemieunterricht zu beschäftigen”)
- The Augmented Reality was great for improving understanding (“Die Augmented Reality war super für das Verständnis”)

The two teachers involved also included feedback on the implementation and changes in the perception of the pupils.

2) Feedback of the teachers:

- While some of the pupils are clearing away the experiments, the rest of the class is voluntarily occupied with the additional task of setting up the reaction equations. (“Während ein Teil der Schüler die Versuche wegräumt, beschäftigt sich der Rest der Klasse freiwillig mit der Zusatzaufgabe: Aufstellen der Reaktionsgleichungen”)
- Pupils who otherwise would not have dealt with the content immediately start the assignment and fill in the gaps. (“Schüler, die sich sonst nicht mit den Inhalten beschäftigt hätten, beginnen sofort mit dem Arbeitsauftrag und ergänzen die Lücken”)
- Especially with the gap text higher motivation than on paper (“Insbesondere beim Lückentext höhere Motivation als auf Papier”)
- Due to the pictures they take, students are more likely to recall their experiments (compare holiday pictures). (“Durch die Bilder ist es möglich, dass sich die Schüler das Gemachte besser behalten (vergleiche Urlaubsbilder)”)
- No need to change the medium in the classroom (“Kein Wechsel des Mediums im Unterricht mehr notwendig”)
- No independent unit which can be implemented easily and makes no sense without progress plans (“Keine freie Einheit, die einfach so durchgeführt werden kann und macht ohne Verlaufspläne keinen Sinn”)
- Two games, even when the pupils drift off they still engaged with chemistry (“Zwei Spiele, wenn die Schüler abdriften, haben sie sich trotzdem mit Chemie beschäftigt”)

- Components of the battery are clearly displayed and this method is more time-efficient than cutting open an actual battery. ("Bestandteile der Batterie werden anschaulich dargestellt und zeitlich effektiver als das Aufschneiden der Batterie")

The classes and teachers were without any exception satisfied with the new materials. The new effects of the materials can be excluded, as the classes have been working with their own tablets in class for two years already. However, the pupils learned for the first time with a Multitouch Learning Book and a lesson enriched with Augmented Reality. All in all, it can be said that the use of an MLB has led to a higher motivation in chemistry lessons. In addition, the knowledge gained in the lessons could be consolidated deeper than with conventional materials, which was confirmed by the teachers. The preparation of the materials took about a week. In the eyes of the authors, this describes a good time-benefit ratio.

4. Conclusion

All in all, it can be said that the use of a Multitouch Learning Book is ideally suited to link the three didactic functions of a learning companion, a learning tool and an experimental. As one of the teachers also noted, the variation of the media is no longer necessary in the classroom, since linking individual components results in a mix anyway. The evaluation of the materials created a basis for optimization, revealing that some aspects of the materials are worthy of improvement. Especially the built-in learning tool contents in the form of Augmented Reality show a strong motivational, but also cognitive character/nature. In particular, the bundling of individual learning tools of this kind into a complete MLB has many advantages for teaching, just as described in the chapters above.

Supporting Information

All materials including the interactive E-Book in English



© The Author(s) 2020. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

and in German can be seen and downloaded from our homepage <https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-didaktik/downloads/>.

Acknowledgements

We would like to thank the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for funding our work on individualization as part of the Qualitätsoffensive Lehrerbildung (SaLut II project).

References

- [1] KMK (2016). Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs "Education in the Digital World" strategy Summary.
- [2] Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXPLAINistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 42-46.
- [3] Seibert, J., Kay, C., & Huwer, J. (2019). EXPLAINistry - Documentation, explanation and visualization of chemical experiments supported by ICT in schools. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 2503-2509.
- [4] Ulrich, N., & Huwer, J. (2017). Digitale (Schul-)Bücher – VoBook zum Multitouch Learning Book. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 63-71). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [5] Kapp, K. M. (2012). The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.
- [6] Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, 355-385.
- [7] Johnstone, A. (1982). Macro- and Micro-Chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- [8] Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.
- [9] Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D-A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *J. Chem Educ.*, 83 (1), 49-55.

2.3.3. Multitouch Learning Books als Versuchsanleitung - Forschendes

Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln

Im Rahmen des Forschenden Lernens beim Experimentieren zeigen sich ebenfalls deutliche Vorteile beim Einsatz eines Multitouch Learning Books. Ausgehend von einer bereits existierenden analogen Versuchsanleitung (Huwer, 2015) wurden mögliche Problemstellen analysiert und diagnostiziert, auf Grundlage dessen die Anleitung im interaktiven eBooks mit Hilfestellungen angereichert wurde. Hier wurde darauf Wert gelegt, dass das Experiment als solches nicht verändert wird, sondern vielmehr die bereits gegebenen Informationen in Form von Anleitungstexten und Hilfestellungen digital erweitert werden. An dieser Stelle wurden besonders die Aspekte der CTML berücksichtigt (Mayer, 2007). Durch die sehr text- und bildlastige analoge Versuchsanleitung konnten Schüler*innen leicht den Überblick verlieren und konnten die entsprechenden Hilfen nicht mit dem vorherrschenden Problem verknüpfen. Zudem wurden die auf dem Aufgabenblatt enthaltenen Aufgaben im Sinne des SAMR-Modells (Puentendura, 2007) verändert, um den Mehrwert eines digitalen Mediums auf das Experimentieren anzuwenden. Diese Veränderung zeigt sich vor allem in der Art der Aufgabenpräsentation sowie -kontrolle. Innerhalb der ersten Aufgabebeispielsweise sollen die Schüler*innen funktionelle Gruppen in den gegebenen Strukturen angeben. Diese Aufgabe bleibt auch in der digitalen Variante bestehen, jedoch erhalten die Schüler*innen durch das integrierte Self-Assessment direkte Rückmeldung über die Richtigkeit. Zusätzlich wurden die ebenfalls in der analogen Variante bereitgestellten Hilfestellungen digitalisiert und entsprechend der in Abschnitt 2.1.3 beschriebenen Kategorien implementiert, sodass entsprechende Hilfen und Aufgaben an der benötigten Stelle direkt von den Schüler*innen abrufbar sind.

Publikation H:

Multitouch Learning Books als Versuchsanleitung - Forschendes Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln

Johannes Huwer¹, Johann Seibert², Roland Brünken³

Eingereicht im Dezember 2017

Angenommen im Januar 2018

Publiziert im Mai 2018

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johannes Huwer, Johann Seibert, Roland Brünken, MNU Journal, 2018, 3, 181-186.

Copyright © 2018, Verlag Klaus Seeberger, Neuss.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Material entwickelt
- Methode mitentwickelt

¹Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

²Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

³Universität des Saarlandes, Empirische Bildungsforschung

Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen

Forschendes Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln

JOHANNES HUWER – JOHANN SEIBERT – ROLAND BRÜNKEN

Dieser Beitrag gibt erste Einblicke in die Möglichkeiten, die Multitouch Learning Books zur Vernetzung von formalem, schulischem Lernen und non-formalem, außerschulischem Lernen wie in den Schülerlaboren bieten. Exemplarisch wird am Beispiel des Experimentiermoduls zum Thema »Süßungsmittel« gezeigt, wie der Beitrag eines Schülerlabors dabei aussehen kann.

1 Einleitung

Digitale Medien für die schulische und außerschulische Bildung stehen zurzeit im Fokus der Bildungspolitik. Dies wirft, neben der Frage nach geeigneter Hardware- und Breitbandausstattung der Schulen, auch Fragen nach geeigneten Inhalten auf.

Multitouch Learning Books stellen eine Weiterentwicklung von E-Books dar; indem multimediale Zusatzmaterialien, wie Arbeitsblätter, Animationen oder gestufte Hilfen für Aufgaben und Experimente eingebunden werden. Als digitale, interaktive Versuchsanleitungen können diese Art der digitalen Medien die lernziendifferenzierende Öffnung des Unterrichts beim Forschenden Experimentieren ermöglichen. Diese digitalen Unterrichtsmaterialien können besonders dabei helfen, den Herausforderungen einer heterogenen Schülerschaft zu begegnen. Durch das Einbinden von interaktiven Anwendungen (Widgets), wie Foto, Sketchpads, Videos, Animationen, interaktiven Übungen und gestuften Hilfestellungen, können die Versuchsanleitungen mehr an den Lernprozess und die individuellen Bedürfnisse einzelner Schülerinnen und Schüler angepasst werden.

In diesem Beitrag beschreiben wir exemplarisch, wie ein Multitouch Learning Book als interaktive Versuchsanleitung beim Forschenden Experimentieren aufgebaut sein kann und welcher Mehrwert dadurch auch im Hinblick auf die Förderung individueller Lernprozesse generiert werden kann.

2 Multitouch Learning Books im Prozess der Digitalisierung

Generell können digitale Medien, wie z. B. Tablets und die damit nutzbare Software, drei große didaktische Funktionen im Lernprozess des Naturwissenschaftsunterrichtes einnehmen: Als Lernwerkzeuge reichern sie den Lernprozess in der konkreten Lernsituation an und als Experimentalwerkzeug erweitern sie die Möglichkeiten beim Experimentieren selbst. Ferner können sie als Lernbegleiter das Lernen über die konkrete Lernsituation bzw. Unterrichtsstunde hinaus über einen längeren Zeitraum anreichern, indem sie sämtliche Lernprozesse »begleiten« (HUWER & BRÜNKEN, 2018; HUWER & SEIBERT, 2017).

Jedoch lässt sich nicht immer trennscharf ein Unterrichtsmaterial einer reinen didaktischen Funktion zuordnen, da auch Mischformen auftreten, so wie die im Folgenden beschriebenen Multitouch Learning Books. Dabei handelt es sich um eine neue Entwicklung im Bereich der digitalen Schulbücher und Lernmaterialien (ULRICH & HUWER, 2017). Diese ermöglichen neben einer klassischen linearen Darstellung auch nichtlinear oder modular aufgebaute Formate.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal der Multitouch Learning Books im Vergleich zu klassischen E-Book Varianten ist die Möglichkeit der Lehrkraft, diese Formate selbst bearbeiten und somit an die Schülerinnen und Schüler und damit auch dem zielgruppengerechten individuellen Lernen im Unterricht anpassen zu können (HUWER & ELKS, 2017). Dies kann über vorgefertigte »Module« geschehen, die von didaktisch geschulten Autorenteamen oder auch von Mitarbeitern außerschulischer Lernorte, wie dem Schülerlabor, erstellt und den Lehrkräften zur Verfügung gestellt werden. Gerade die außerschulischen Lernorte, die Schülerlabore, spielen dabei eine zentrale Rolle und zwar vor allem dann, wenn interaktive Versuchsanleitungen in Form von Multitouch Learning Books zur Vernetzung von schulischem und außerschulischem Lernen erstellt werden.

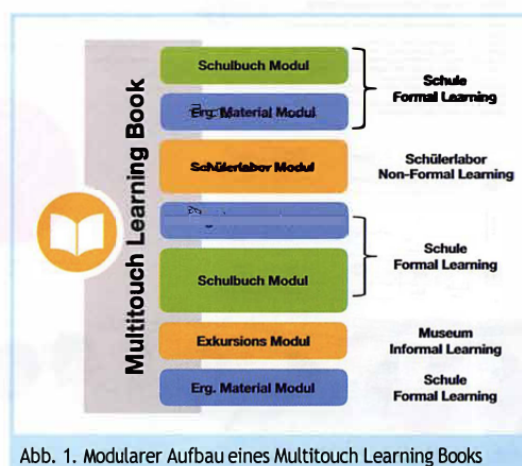


Abb. 1. Modularer Aufbau eines Multitouch Learning Books



Abb. 2. Inhaltsverzeichnis & Interface-Erklärung

sodass es zu einer nahtlosen Zusammenarbeit von Schule und Schülerlabor kommen kann.

Mit dem nachfolgenden Multitouch Learning Book zeigen wir am Beispiel von »Süßungsmitteln«, wie ein solches Modul eines Schülerlaborbesuchs aussehen kann.

In der Praxis würden die Schülerinnen und Schüler idealerweise mit ihrem eigenen Tablet in das Schülerlabor kommen und dort ihre Aufgaben bearbeiten. Dadurch kommt es zu einer weiteren inhaltlichen, aber auch äußerlichen Verknüpfung zwischen den beiden Lernorten. Durch Implementierung von Schülerlaborversuchen im Unterricht können sowohl Vor- als auch Nachbereitung in der Schule ablaufen. Die Lehrperson kann dadurch den Schülerlaborbesuch in den Unterricht curricular einbinden und den Mehrwert des forschenden Experimentierens für weiterführende Lerngelegenheiten nutzen.

3 Vernetzung von schulischem und außerschulischem Lernen

Die Forschung der letzten Jahre hat gezeigt, dass dort, wo eine breit angelegte, relevante Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) oder berufliche Orientierung ermöglicht werden soll, das formale Lernen in der Schule an seine Grenzen stößt (HOPKINS & MCKEOWN, 2002). Diesem Missstand, kann in der Erweiterung des schulischen, formalen Lernens durch nicht-formale, außerschulische Bildung begegnet werden (GARNER, HAYES & EILKS, 2014).

Der interaktive Lernbegleiter, in Form eines Multitouch Learning Books, liefert genau diese Möglichkeit. Schülerlaborversuche können von der Lehrperson direkt durch ein Schülerlabormodul in das Buch der Lernenden implementiert werden,

4 Interaktive Versuchsanleitung zum Schülerlaborversuch Süß- und Zuckeraustauschstoffe

Die Grundlage für das Multitouch Learning Book stellt ein Schülerlaborversuch aus dem Repertoire des Schülerlabors NanoBioLab der Universität des Saarlandes dar. In der analogen Variante werden auf den ersten beiden Seiten allgemeine Informationen zu dem Versuch sowie die Aufgabenstellungen für die Forschungsarbeiten im Labor gegeben. Auf der zweiten Doppelseite sind Experimentalhilfen aufgeführt, die die Schülerinnen und Schüler für die Versuche benötigen (s. verfügbarer Download auf www.nanobiolab.de). Deshalb wurden alle Inhalte aus der analogen Variante übernommen und mit digitalen Inhalten angereichert.

AUFGABE 1

Süßstoffe und Zuckeraustauschstoffe

Es gibt viele Möglichkeiten ein Lebensmittel zu süßen. Dies zeigt das Rezept im Supermarkt.

Obwohl Zucker, Zuckeraustauschstoffe und Süßstoffe, Zucker sind so vielen Nahrungsmitteln enthalten und stehen in der Ernährung haben sie als Hauptenergiequelle. Sie liefern einen hohen Brennwert und helfen zudem beim Verdauen. Zuckeraustauschstoffe besitzen eine unterschiedliche chemische Struktur, werden allerdings vom Körper langsamer abgebaut. Süßstoffe haben gegenüber Zucker oder Zuckeraustauschstoffen den Vorteil, dass sie vom menschlichen Organismus nicht verwertet werden. Die verschiedenen Zucker, Zuckeraustauschstoffe und Süßstoffe schmecken alle süß. In ihrem chemischen Eigenschaften unterscheiden sie sich jedoch.

	Sorbit	Glucose	Aspartam	Neotam-Cyclamat	Süßholz
Chemische Formel	$C_6H_{14}O_6$	$C_6H_{12}O_6$	$C_{14}H_{18}N_2O_5$	$C_{14}H_{14}N_2O_5$	$C_{15}H_{10}O_5$
Strukturformel					
Molare Masse	182,17 g mol ⁻¹	180,16 g mol ⁻¹	294,30 g mol ⁻¹	282,30 g mol ⁻¹	266,30 g mol ⁻¹
Bezeichnung	Süßholzwurzel	Zucker	Süßholz	Süßholz	Aspartam

Die unten angegebenen Stoffe besitzen funktionelle Gruppen. Identifiziere bei den verschiedenen Süßstoffen, Zuckeraustauschstoffen und Zucker funktionelle Gruppen und benenne diese.

Ordne den fünf Substanzen die passenden funktionellen Gruppen zu!

Übungsaufgabe: Benennung der funktionellen Gruppen!

Abb. 3. Aufgabe 1

Neben der ursprünglichen Aufgaben- und Hilfestellung enthält die interaktive Versuchsanleitung sogenannte interaktive Widgets, kleine vorprogrammierte Anwendungen, die einfach und ohne Programmierkenntnisse in das Dokument eingebunden werden können.

Diese Widgets können verschiedene Funktionen und einen didaktischen Mehrwert aufweisen (HUWER & EILKS, 2017). Zu Beginn des Buches werden diese im Inhaltsverzeichnis aufgelistet, damit der extrinsische kognitive Load möglichst gering ist (s. Abb. 3) (MAYER & MORENO, 2010).

Die Schülerinnen und Schüler haben, wie auch in der analogen Variante der Aufgabenstellung, den Auftrag, die funktionellen Gruppen den fünf verschiedenen Stoffen zuzuordnen und diese zu benennen (siehe Abb. 3).

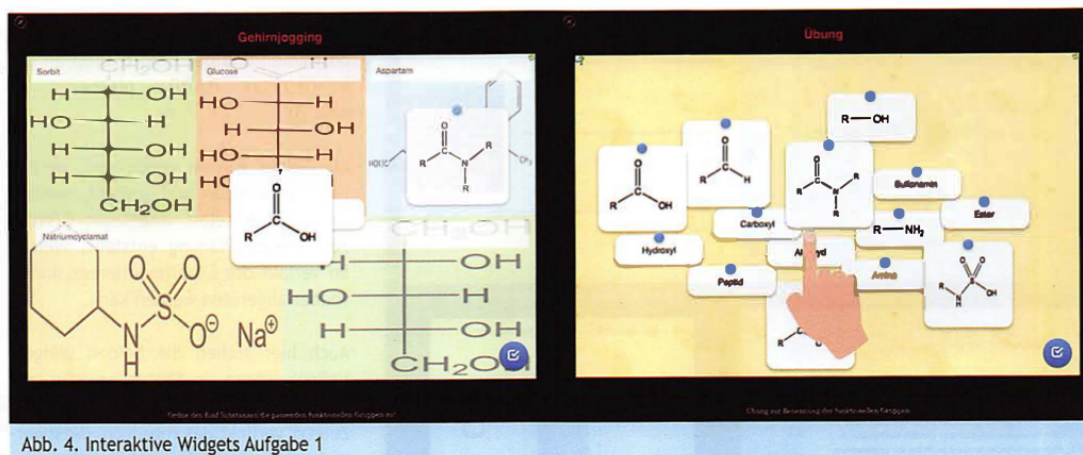


Abb. 4. Interaktive Widgets Aufgabe 1

Das rote »Gehirn-Jogging« – Widget (s. Abb. 3) visualisiert die Denkaufgabe aus Aufgabe 1 der ursprünglich analogen Versuchsanleitung. Im Rahmen der Differenzierung wurde ein weiteres Übungswidget auf der Seite installiert, um bei der Verknüpfung von formalen und symbolischen Schreibweisen zu unterstützen. Abb. 5 zeigt den Inhalt der beiden In-Apps. In beiden Fällen handelt es sich um Zuordnungsaufgaben.

Links in Abb. 4 ist die Hauptaufgabe zu sehen. Hier sollen die Lernenden die verschiedenen funktionellen Gruppen in Form einer Strukturformel und eines Wortes zuordnen, was wiederum zu einer inneren Differenzierung führt. Die einzelnen Wort- und Bildkarten werden dann auf die entsprechenden Felder mit einem Fingerprint gezogen.

Rechts in Abb. 4 ist die zusätzliche Übung dargestellt. Diese kann den Schülerinnen und Schülern helfen, ihr Vorwissen zu aktivieren, um dies in der Hauptaufgabe erfolgreich anwenden zu können. Bei dieser Übung soll die Verknüpfung von Bild und Wort gefördert werden.

Kontextuell und inhaltlich wurde bei der zweiten Aufgabe ebenfalls nichts verändert. So sollen auch hier die Schülerinnen und Schüler untersuchen, warum Cola light eine Phenylalaninquelle enthält, obwohl kein Phenylalanin als Zutat aufgelistet ist. Das in der Originalaufgabenstellung abgedruckte Etikett der Flasche ist nun über ein Pop-up durch einen Druck auf die Flasche einzusehen. Durch die zuvor festgelegte Darstellung der Interfaces ist auf dieser Seite eine klare Struktur zu erkennen. Die roten Icons links dienen der Versuchsdokumentation, wobei Versuchsaufbau und -ablauf in Bildern über ein In-Book-Photo Widget

festgehalten werden und über ein Sketchpad Widget, welches eine handschriftliche Sicherung ermöglicht.

An dieser Stelle kommt es bereits zu einer Erweiterung der analogen Variante dieses Versuchs, denn die Versuchsanleitung wird interaktiv erweitert durch einen Hefteintrag inklusive Bildern, welche zur Reflexion bzw. Besprechung oder zur Nacharbeit zuhause verwendet werden können.

Hilfestellungen zu Teilversuchen oder auch dem gesamten Versuchsablauf werden auf der rechten Seite in Form von grünen und blauen Interfaces bereitgestellt. Diese mehrstufigen Hilfestellungen sind ein weiterer zentraler Bestandteil der interaktiven Versuchsanleitung.

In einem Vorgängerprojekt »Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit im Schülerlabor – Lernangebote für alle Schülerinnen und

Abb. 5. Aufgabe 2

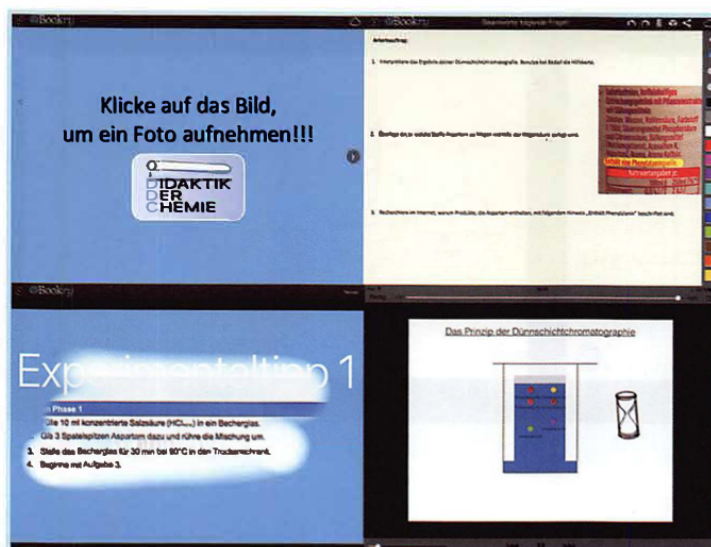


Abb. 6. Interaktive Widgets Aufgabe 2

Schüler* wurden verschiedene Hilfestellungen auf unterschiedlichen Ebenen zu diesem Versuch entwickelt, die an dieser Stelle interaktiv in die Anleitung eingebunden wurden (AFFELDT, WEITZ, SIOL, MARKIC & EILKS, 2015). Der Lernende erhält Unterstützung in Form von Experimental-, Verständnis- und Sprachtipps (jeweils eigenes Icon), welche wiederum in zwei Stufen mit abgestuftem Öffnungsgrad vorliegen. Die Hilfekarten sind unter anderem hinter einem Rubbelfeld versteckt (s. Abb. 6 unten links), damit die Hilfestellung nicht durch unbeabsichtigtes Klicken angezeigt wird. Neben den visuellen Hilfen wurde zur Unterstützung der audiovisuellen Ebene ebenso ein kurzes, selbst erstelltes Erklärvideo zur Methode der Dünnschichtchromatographie eingebunden. Dies kann genau dann eingesetzt werden, wenn sich die Forscher selbst den Lösungsweg erarbeiten möchten, ohne einen Betreuer zu fragen.

Jede qualitative Analyse setzt eine Planung des Versuchsablaufes voraus. Dies ist ein zentraler Bestandteil von Aufgabe 3 (s. Abb. 7). Fünf verschiedene Substanzen sollen auf ihre Identität geprüft werden. Planloses Experimentieren kann, muss aber nicht, zum Ziel führen. Deshalb sollten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit haben, ihren Experimentalweg zuvor zu planen. Aus diesem Grund ermöglicht ein »Gehirn-Jogging«-Widget, Phasen des Vorgehens zu strukturieren und dadurch besser an das gewünschte Ziel zu kommen.

Neben den zu untersuchenden Substanzen und Pfeilen kann man die zur Ver-

fügung stehenden Nachweisreaktionen auswählen und per Drag & Drop an der gewünschten Position platzieren (s. Abb. 8).

Die Felder können verkleinert, vergrößert, verschoben und gedreht werden, sodass eine selbst angelegte Graphik zur eigenen Planung entsteht, welche im Verlauf des Experimentierens immer wieder abgerufen werden kann.

Auch hier stehen die beiden Widgets (inBook Photo & Sketchpad) für die Versuchsdokumentation zur Verfügung. Zuletzt verlinkt das rote Icon »Messwertfassung« auf eine externe App des Tablets, welche drahtlos Messwerte für die Gefrierpunktniedrigung über ein digitales Interface aufnimmt. Die gemessenen Temperaturen können dann ebenfalls in der interaktiven Versuchsanleitung hinterlegt werden.

Jede Seite in dieser Anleitung wurde möglichst schlicht gehalten, damit es zu keiner kognitiven Überbelastung durch optische Überladung der Seite kommt.

Auf einer angehängten Infoseite (s. Abb. 9) finden sich zusätzliche Hilfestellungen in Form von Videos und Hilfekarten. Diese Hilfekarten haben denselben Umfang, wie bereits in der zweiten Aufgabe beschrieben. Allerdings werden diese nun durch ein Pop-Up bereitgestellt. Zu vier von sieben Nachweisreaktionen wurden ebenfalls kurze Videosequenzen als zusätzliche Hilfestellung in der Anleitung implementiert (s. Abb. 10).

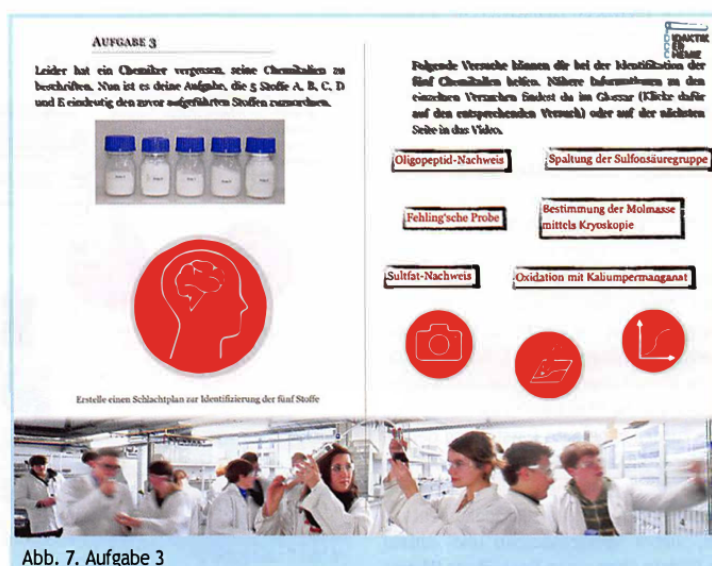


Abb. 7. Aufgabe 3

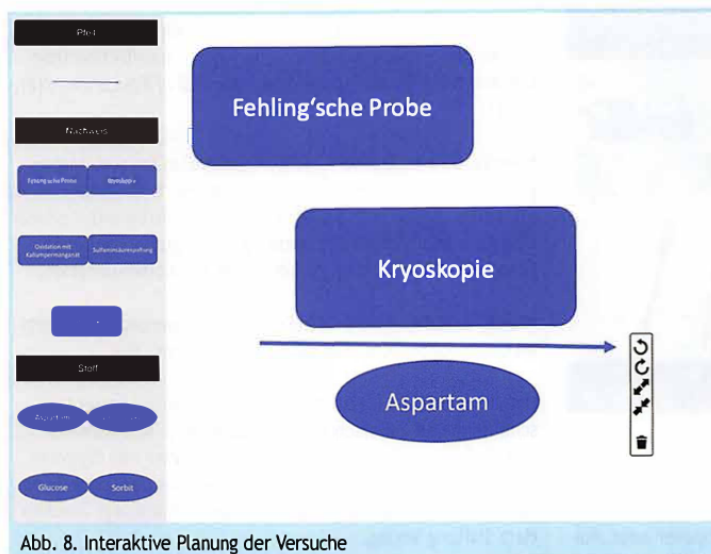


Abb. 8. Interaktive Planung der Versuche

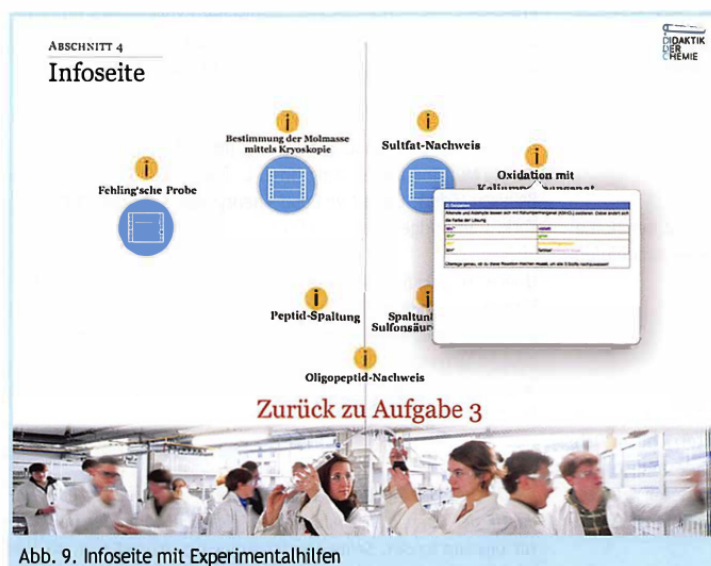


Abb. 9. Infoseite mit Experimentalhilfen

5 Mehrwerte und Grenzen des Multitouch Learning Books als Versuchsanleitung

Das von uns vorgestellte Beispiel hat beim Einsatz im Schülerlabor gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler mit der Versuchsanleitung in Form eines Multitouch Learning Books gut zurechtgekommen sind. Gut angenommen wurden die interaktiven Widgets, die den Lernenden sowohl Freude bereitet als auch ein höheres Maß an Selbstbestimmung ermöglicht haben. Lernende sowie die Lehrkräfte wollten gerne weiterhin mit Multitouch Learning Books arbeiten, weil im Gegensatz zum klassischen, analogen Schulbuch hier schulisches Lernen mit

konkreten, außerschulischen Angeboten besser verknüpft werden kann.

Eine Hürde beim flächendeckenden Einsatz der Multitouch Learning Books stellt sicherlich die technische Ausstattung der Schulen dar. Neben einem Breitbandausbau und einem geeigneten schulischen Netz ist vor allem die (noch) fehlende 1:1-Ausstattung an iPads zu nennen. Über einen längeren Zeitraum kann das Multitouch Learning Book erst dann sein volles Potential entfalten, wenn alle Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit besitzen, das Tablet auch mit nach Hause zu nehmen, um an Projekten etc. weiterzuarbeiten.

Da die meisten Schülerlabore an Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen angesiedelt sind, ist die Hardwareausstattung dort zurzeit schon besser flächendeckend zu realisieren als in den Schulen. So können diese bereits zu diesem Zeitpunkt als »Innovationsmotor« eine wichtige Rolle spielen, in dem im Umfeld von didaktisch geschultem Personal nicht nur die Schülerinnen und Schüler an das neue Medium herangeführt werden. Für die Lehrkräfte hat dies den Vorteil, dass sie gleichzeitig schrittweise beim Schülerlaboresuch im Umgang mit dieser Form der digitalen Medien geschult werden.

Neben der technischen Ausstattung sind vor allem didaktische Hürden beim Einsatz von Multitouch Learning Books zu nennen. Zwar hat die Lehrkraft im Falle von iOS-Systemen die Möglichkeit, ohne Programmierkenntnisse diese selbst zu bearbeiten und anzupassen, z. B. indem sie Animationen aus dem Internet einfügt. Jedoch birgt dies die Gefahr, dass durch didaktisch ungeeignete Animationen das Lernen sogar behindert werden

kann (EILKS, PIETZNER & WITTECK, 2010). Auch hier können Schülerlabore eine wichtige Rolle einnehmen. Viele Schülerlabore sind an den Universitäten eng mit den jeweiligen Didaktiken verknüpft, sodass hier die Lehrkräfte in der Auswahl und in dem didaktisch sinnvollen Einsatz geschult werden können.

Technische Hinweise

Das hier beschriebene Multitouch Learning Book wurde mithilfe der kostenlosen Software »iBooks Author« für macOS erstellt. Diese beinhaltet eine Reihe an interaktiven Widget Vorlagen,



Abb. 10. Erklärvideo Kryoskopie

die je nach Einsatzzweck modifiziert werden können. Darunter fallen z. B. Galerie, interaktive Bilder, Popover oder Multiple Choice Aufgaben. Ferner wurden auch HTML 5 Widgets von www.bookry.com und www.learningapps.org verwendet und einsatzgemäß modifiziert und neu gestaltet. Sind Programmierfähigkeiten vorhanden (notwendige Programmiersprache ist HTML5), so können mit der App »Hype3« selbst komplett eigenständige Widgets programmiert werden.

Material

Die digitale interaktive Versuchsanleitung steht auf der Homepage der Fachdidaktik Chemie Saarbrücken (www.nanobiolab.de) als iBook zum Downloaden zur Verfügung.

Danksagung

Wir danken der Joachim Herz Stiftung für die Förderung unserer Arbeiten zu digitalen Medien im Chemieunterricht im Rahmen des Kollegs Didaktik: Digital und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung unserer Arbeiten zur Individualisierung im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung (Projekt SaLUt).

Literatur

AFFELDT, F., WEITZ, K., SIOL, A., MARKIC, S. & EILKS, I. (2015). A non-formal student laboratory as a place for innovation in education for sustainability for all students. *Educational Sciences*(5), 238–254.

EILKS, I., PIETZNER, V. & WITTECK, T. (2010). Multimedia aus dem Internet – Motivierend, aber immer auch lernförderlich? *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 59(4), 31–24.

GARNER, N., HAYES, S. & EILKS, I. (2014). Linking formal and non-formal learning in science education – a reflection from two cases in Ireland and Germany. *Journal of Education*, 2(2), 10–31.

HOPKINS, C. & MCKEOWN, R. (2002). Education for sustainable development: An international perspective. In D. TILBURY, R. B. STEVENSON, J. FEIN & D. SCHREUDER (Eds.), *Environmental education for sustainability: Responding to the global challenge*. Gland: IUCN Commission on Education and Communication.

HUWER, J. & BRÜNKEN, R. (2018). Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. *Computer + Unterricht*, 109.

HUWER, J. & EILKS, I. (2017). Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung. In J. MEßINGER-KOPPELT, S. SCHANZE & J. GROß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 81–94). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.

HUWER, J. & SEIBERT, J. (2017). EXplainistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 44–48.

MAYER, R. & MORENO, R. (2010). Techniques that Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In J. L. PLASS, R. MORENO & R. BRÜNKEN (Eds.), *Cognitive Load Theory* (pp. 131–152). New York: Cambridge University Press.

ULRICH, N. & HUWER, J. (2017). Digitale (Schul-)Bücher – Vom E-Book zum Multitouch Learning Book. In J. MEßINGER-KOPPELT, S. SCHANZE & J. GROß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 63–71). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.

AR Dr. JOHANNES HUWER ist seit 2017 Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie und Schülerlabor NanoBioLab an der Universität des Saarlandes. Seine Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit den Forschungsthemen der Digitalisierung im Naturwissenschaftsunterricht (mit Schwerpunkt Transformative Science Education), dem Forschenden Experimentieren in Schule und Schülerlabor (mit dem Schwerpunkt MINT-Nachhaltigkeitsbildung) und dem Umgang mit Heterogenität und Diversität (mit dem Schwerpunkt Individuelle Förderung).

JOHANN SEIBERT ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und promoviert in der Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie und Schülerlabor NanoBioLab an der Universität des Saarlandes.

Prof. Dr. ROLAND BRÜNKEN ist Leiter der Arbeitsgruppe für empirische Bildungswissenschaften an der Universität des Saarlandes. ■

2.3.4.Förderung der Bildung für nachhaltige Entwicklung mit einem interaktiven digitalen Lernbegleiter

Wie bereits in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, können Multitouch Learning Books das Forschende Experimentieren durch individuelle Aspekte anreichern. Diese Anreicherung kann einerseits durch differenzierende Hilfe- und Aufgabenstellungen passieren und andererseits durch das gegebene Lehr-Lernszenario. Neben individuellen Aspekten werden in dem folgenden digitalen Lernbegleiter zusätzliche Aspekte der Bildung für nachhaltige Entwicklung implementiert, wodurch digitale Kompetenzen und Kompetenzen der BNE miteinander vernetzt werden. Das entwickelte Multitouch Learning Book zur Phosphor-Rückgewinnung kann dazu eingesetzt werden, um im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung eine relevante Problemstellung der Nachhaltigkeitsdebatte aus Perspektive der Chemie für Schüler*innen erfahrbar zu machen. In diesem Zusammenhang wurde innerhalb einer Schülerlaborumgebung eine digitale Lernfirma entwickelt, in der die Schüler*innen zu Expert*innen der Phosphor-Rückgewinnung ausgebildet werden. Hierzu erhalten sie von einem Vorgesetzten jeweils Forschungsaufträge, die sie mit Hilfe gegebener Hilfestellungen erarbeiten müssen. Die Experimente zum Thema Phosphor-Rückgewinnung wurden von den Kolleg*innen der Chemiedidaktik an der Universität in Bremen um Prof. Dr. Ingo Eilks entwickelt und in dieser Arbeit mit Hilfe einer digitalen Lernfirma innerhalb eines Multitouch Learning Books angereichert. Das Prinzip einer Lernfirma wurde über einen nicht-linearen Lernweg realisiert, sodass die Schüler*innen durch eigenständiges Navigieren innerhalb des MLBs zu den entsprechenden Aufgaben gelangen. Zudem wurden auch in diesem MLB differenzierende Lernhilfen und -aufgaben integriert, um individuelles Lernen zu ermöglichen. Innerhalb der Lernfirma erlernen die Schüler*innen qualitative und quantitative Methoden zur Phosphor-Rückgewinnung und wenden diese auf vier reale industrielle Prozesse im Downscaling an. Durch die Einbettung dieser Inhalte in diesen relevanten Kontext, soll neben dem reinen Kognitionserwerb bezweckt werden, dass der Nachhaltigkeitsgedanke der Schüler*innen ausgebildet bzw. erweitert wird.

Publikation I:

Promoting Education for Sustainable Development with an Interactive Digital Learning Companion Students Use to Perform Collaborative Phosphorus Recovery Experiments and Reporting

Johann Seibert¹, Isabel Schmoll², Christopher W. M. Kay¹ and Johannes Huwer³

Eingereicht am 02. Mai 2020

Angenommen am 03. September 2020

Publiziert am 30. September 2020

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Isabel Schmoll, Christopher W. M. Kay and Johannes Huwer, Journal of Chemical Education, 2020.

DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c00408

Copyright © 2020, American Chemical Society.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation durchgeführt und ausgewertet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Albertus-Magnus-Realschule, Auf der Meß 16, 66386 St. Ingbert

³Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Promoting Education for Sustainable Development with an Interactive Digital Learning Companion Students Use to Perform Collaborative Phosphorus Recovery Experiments and Reporting

Johann Seibert,* Isabel Schmoll, Christopher W. M. Kay, and Johannes Huwer*



Cite This: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00408>



Read Online

ACCESS |



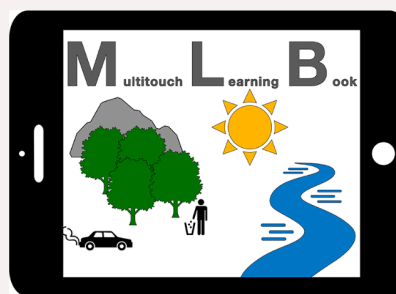
Metrics & More



Article Recommendations

ABSTRACT: Multitouch learning books (MLBs) are learning companions that support learning within a series, independent of the learning location. These MLBs can accompany an experiment itself or an entire learning process. In addition to providing interactive tasks, an all-in-one solution can provide pupils with additional information, supporting and differentiating aids, in-depth exercises, and collaborative tasks in one location. This Article presents an interactive learning companion that facilitates student learning through digital interaction while also developing concepts of sustainability in students' minds. For this purpose, a learning scenario was developed that simulates a virtual learning company in an interactive e-book that corresponds to real experiments carried out in a laboratory. Using this interactive e-book, pupils receive e-mail messages from their "supervisors," give account to the "board of directors," and finally evaluate four real processes for phosphorus recovery. The entire series was qualitatively tested with 89 tenth-grade students. Assessment of these students found a significant increase in their use and understanding of digital tools and awareness of education for sustainable development concepts.

KEYWORDS: High School/Introductory Chemistry, Interdisciplinary/Multidisciplinary, Curriculum, Hands-On Learning/Manipulatives, Multimedia-Based Learning, Applications of Chemistry, Environmental Chemistry



INTRODUCTION

Especially in today's world, digital media are irreplaceable, both in the private and school sector. The Conference of Ministers of Education and Cultural Affairs has published the "Competencies in the Digital World."¹ Digital media must be used in a technically meaningful and didactically reflective manner so that added value in the sense of science education can result.

The multitouch learning books (MLBs) we have developed intend to show how exactly this combination of general technical and digital skills can succeed. Interactive e-books are learning companions that are used in the teaching and learning laboratories (Schülerlabors) NanoBioLab (Saarland University) and iChemLab (Weingarten University of Education). MLBs in Schülerlabors promote the method of inquiry-based learning in an exceptional way. There is a differentiated support allowed by interactive widgets that there is a high possibility for individualization.² The combination of multitouch learning books and inquiry-based learning provides an opportunity to promote problem-solving competencies in a way that explores a real-life problem independently with individual decision-making using support tools.³ In this context chemistry topics can be connected to sustainable development. Protection of

phosphate resources as a socio-scientific issue allows pupils to see the individual and social relevance and a professional vantage to chemically analyze industrial solution approaches to solve this problem.^{4,5} Furthermore, interactive widgets can connect different places of learning in a way that links school topic, laboratories experiments, and industrial processes. MLBs serve as a connection, both between formal and nonformal places of learning and between the transfer of competences for pupils.^{6,7}

This relation is precisely where the project starts and provides didactically reflected and competence-oriented teaching–learning scenarios. Teachers act in these scenarios as a supervisor to support pupils in case of technical problems and to verify understanding of the learning content and to support a critical reflection of pupils' results. During the usage

Received: May 2, 2020

Revised: September 3, 2020



ACS Publications

© XXXX American Chemical Society and
Division of Chemical Education, Inc.

A

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00408>
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

of the MLB in the course, there is no more time needed compared to other pedagogical approaches, if the method is practiced regularly. In the course of the project, multitouch learning books for advanced chemistry lessons with a focus on technical–scientific and socially relevant aspects of chemistry were developed and evaluated. This fact made it possible to provide a digital material pool for chemistry teachers. The dissemination of newly developed multitouch learning books and targeted events for pupils, prospective teachers, and teachers will allow a more extensive reach of the transformation of science education.

■ IMPROVING THE LEARNING EXPERIENCE: MULTITOUCH LEARNING BOOKS TO PERFORM EXPERIMENTS

Multitouch Learning Books in a Chemistry Laboratory to Promote Digital Learning

A multitouch learning book is an interactive learning companion with additional dynamic, interactive, nonlinear, and modular materials such as worksheets and individual support are integrated.³ Huwer and Eilks define them as a learning companion that includes designed elements in the sense of a learning portfolio.³ There are two types of these kinds of learning companions. The first type, modifiable teacher-created MLBs, can be adapted for different learners. With the software iBooks Author, teachers can create and change their books for this purpose.⁸ The second type of learning companion of MLBs cannot be adapted by teachers themselves. These are only “ready to use”; however, they have been approved by professionals to align with the curriculum.^{3,9} There are several examples of these multitouch learning books.^{10–12} But regional references or individual class-internal support cannot be taken into account, a central need that mainly affects Schülerlabor. Furthermore, it can take much time to create these e-books; thus, they are often not adapted to current events (e.g., Fridays for Future).

Customizable multitouch learning books are flexible in their presentation to pupils. Regional aspects and aspects of individualization can be integrated at this point.¹² Thus, it is also possible to integrate the offerings of a Schülerlabor in the school context. Due to this adaptation of the contents, individual learning in the classroom can be promoted. This form of individual teaching makes it possible to provide all the necessary materials to appropriate groups of pupils within one medium (the e-book). Texts, pictures, videos, animations, and dynamic visualizations can be profitably integrated.^{13–16} Thus, dynamic processes at the particle level can be implemented in the e-book, so that the pupils can obtain a dynamic visualization of processes that cannot be observed. All these potentials lead to the possibility of providing every pupil with their own individualized e-book connected to their learning level. Alternatively, there could be several variants of learning companion from which pupils can choose the book they want in order to work in a self-regulated manner, which results in a higher degree of self-regulation.^{1,17}

All these aspects of individual learning, such as a natural variety of methods as well as flexibility in the presentation of materials, allow for a profitable use of powerful interactive tasks in class.¹⁸ Profitable in this case means that the pupils can choose the tasks and the individual help in a self-directed way, depending on their strengths and weaknesses. While the pupils work on the tasks, the help can be called up at the appropriate

time. This environment can also lead to integrated, more complex tasks being seen as a challenge, which in turn results in individualized learning.¹⁹ The help provided in the e-book can be set up in such a way that the pupils receive help only after one-time processing and on request. Moreover, there is a media option to present the tasks and aids in different ways. For example, drag-and-drop tasks, self-assessment cloze texts, or only digitally possible task formats can be integrated. Also, it is possible to perform and repeat these tasks as often as possible with built-in self-control. This fact also has the advantage that the teacher gains additional time to address and correct individual problems in the classroom. Multitouch learning books also offer the possibility to follow individual nonlinear learning paths. Through a targeted implementation of hyperlink buttons, pupils can search for and follow their solution.

Fields of Application and Discussion of Advantages of a Multitouch Learning Book

Multitouch learning books play an essential role in science education, including nonformal learning environments, such as Schülerlabors.³ This necessary connection between a non-formal and a formal learning environment defines a criterion for the curricular success of a Schülerlabor. Additionally, this laboratory event must not seem like an independent trip; it is even more critical to connect the curricular and extracurricular learning by preparing it in school beforehand, and afterward.^{20–22} It is often unavoidable that the materials from the Schülerlabor are challenging to combine with the materials from the school preparation and follow-up. A multitouch learning book offers the possibility of presenting these materials uniformly and with a connection. Thus, the visit to the Schülerlabor can be implemented as a submodule in the ongoing lessons. Thus, the materials developed in the Schülerlabor can be worked on and followed up directly in one medium. For example, the documentation of the experiment in the laboratory is saved for follow-up work in the school. The MLBs developed by us for our Schülerlabor are also didactically reflected and are provided to teachers in advance as a modifiable version.¹³

Various added values of the learning companion compared to the analogous experiment variant can be briefly synopsized as follows:

- Individual experiments are connected via links in the multitouch learning book, thus breaking up a linear learning path. This nonlinear learning path can promote the self-determination of the pupils when experimenting.
- Integration of interactive applications (widgets) allows a better adaptation of the experimental instructions to the learning process and individual needs of the pupils.
- Integration of animations can significantly increase understanding and problem-solving skills.
- Integration of individual learning tools and experimental tools, such as pH measurement with digital data acquisition, leads to an important link between the various didactic functions of digital media. The Schülerlabor module enables meaningful networking of nonformal and formal learning environment. In this context, the learning companion includes the function as an experimental tool. In this regard, it is possible to control the reaction conditions of the experiment all the time without losing the focus of the experiment's handling. At the same time, there is a linkage between

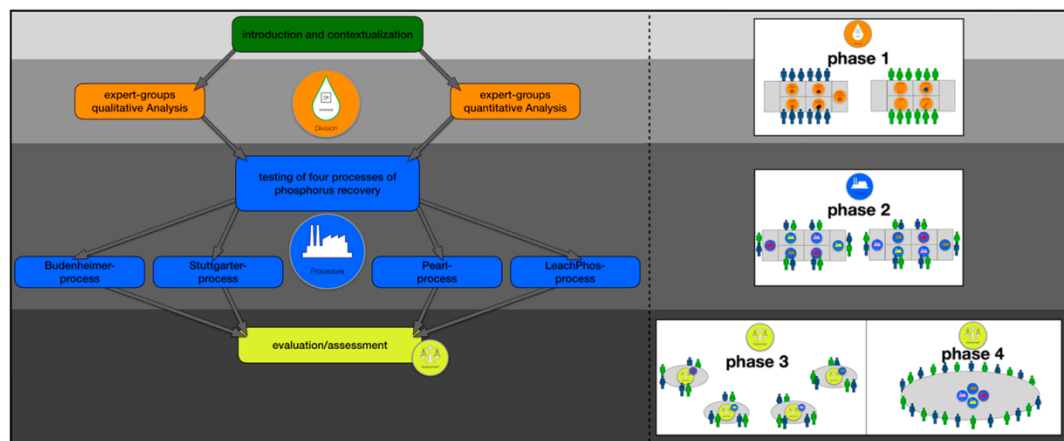


Figure 1. Organization of the learning company in four phases: introduction, divisions, procedures, and assessment.

the experiment and the real industrial process because the reaction is controlled by digital data measurement.

Phosphate Recovery as a Topic in Informal and Formal Education

There are different methods to integrate sustainable development in chemistry education. Rauch defines three models for Education for Sustainable Development (ESD) in chemistry: (i) adopting green chemistry principles; (ii) selecting sustainability strategies as topic; and (iii) using socio-scientific issues.²³ These “models can contribute to learning *about* or *for* sustainable development.”²⁴ Socio-scientific issues (SSI) focus both learning *for* as well as learning *about* sustainable development and promotes system thinking.²⁴ The developed learning environment uses the necessity of phosphorus recovery as SSI with multiperspective and interdisciplinary considerations. Phosphorus is a growth-limiting factor and essential for human beings and plants. For this reason, it is an essential component in fertilizers and necessary for agriculture.⁵ Phosphate is vital for the economy, but there is also a high supply risk due to limited resources. Therefore, the European Union declares phosphates a critical raw material.²⁵ In connection with these problems, environmental technology is developing recovering processes for phosphate from wastewater and sewage sludge.⁴ This should reduce potential risks and the impact on the environment as a result of the closed phosphate cycle by the recovery processes.

This problem of limited phosphate resources and high requirement of the raw material at the same time can be a topic in chemistry. Generally, chemistry curricula are not focused on the element phosphorus or the phosphates, although they have an everyday life relevance. Equally, there is a significant lack in the integration of sustainability-related topics in problem-oriented teaching, despite the central role of chemistry for sustainable development.²⁶ Phosphorus recovery can be integrated in chemistry education as a socio-scientific issue with a sustainable focus to empower the relevance of scientific learning. Furthermore, this problem-based context with multiperspective problem-solving aspects indicates chemistry's need for solving challenges in the context of sustainable development and the impact of scientific technologies to reach

the United Nations Sustainable Development Goals.⁴ The topic of phosphate recovery is appropriate as a socio-scientific issue due to its authenticity, relevance, possibility of discussion, and different points of views in society; furthermore, phosphate recovery is a meaningful techno-scientific query.²⁶

Due to its multidimensional nature, the topic of phosphorus recovery connects cross-disciplinary aspects. It includes perspectives from different scientific fields, including geography, biology, economy, and chemistry.⁵ The topic also connects formal learning in school with nonformal learning in a Schülerlabor. The basis for a transdisciplinary approach and the connection of formal and nonformal learning is embedded in a digital learning environment that is divided into three parts: preparation, laboratory work, and follow-up.⁵ The preparation explains “the economic, societal, and geographical dimensions of the topic” in a digital presentation (using Prezi).⁵ Afterward, pupils compare different industrial recovery processes in a laboratory experiment. For linking formal education in school and nonformal education in Schülerlabor, the topic content was integrated into a digital learning environment in the context of a virtual learning company.

The Virtual Learning Company

Work in this Schülerlabor develops the topic's main component and embeds the experiments in a virtual learning company designed in a **digital learning setting**. In the first step, pupils perform qualitative and semiquantitative analysis of phosphate samples to learn the basic working techniques of the recovery processes. After that, pupils perform experiments to recover phosphate from model sewage sludge. In this way, the experiments embedded in the virtual learning company illustrate the relevance of phosphorus recovery. In the introduction, the importance of growth-limiting factor phosphorus is shown to pupils via an e-mail message and a video.

Pupils evaluate qualitative and quantitative analytical procedures for phosphate analysis. They will apply these learned analytical methods in the contextualization by testing the different phosphorus recovery processes (see Figure 1). Every process is structured in steps: leaching, filtration, crystallization, and quantification.⁵ The experiments vary in the leaching substance and the precipitation agent. The pupils

C

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c00408>
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

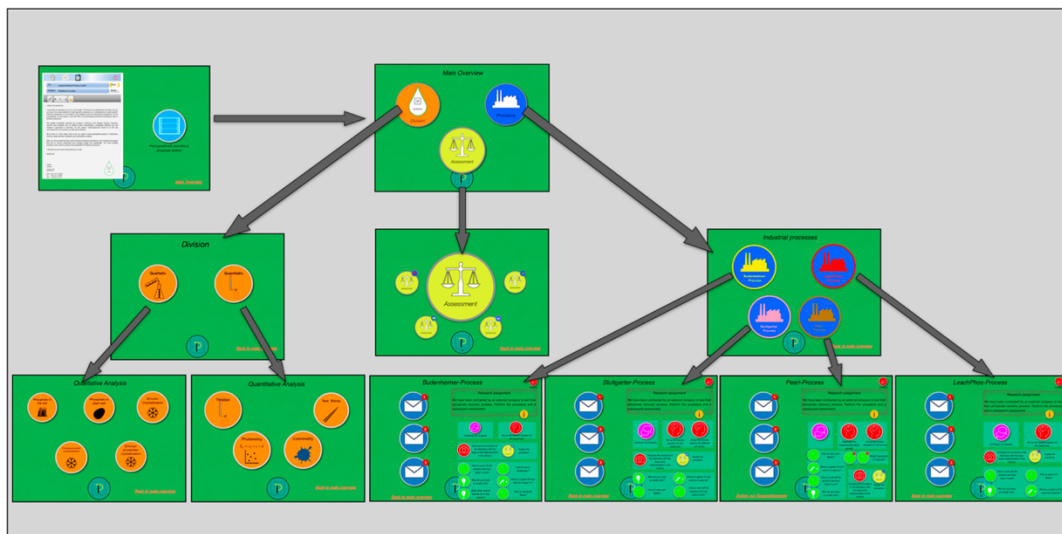


Figure 2. Overview of navigation through the e-book about phosphorus recovery.

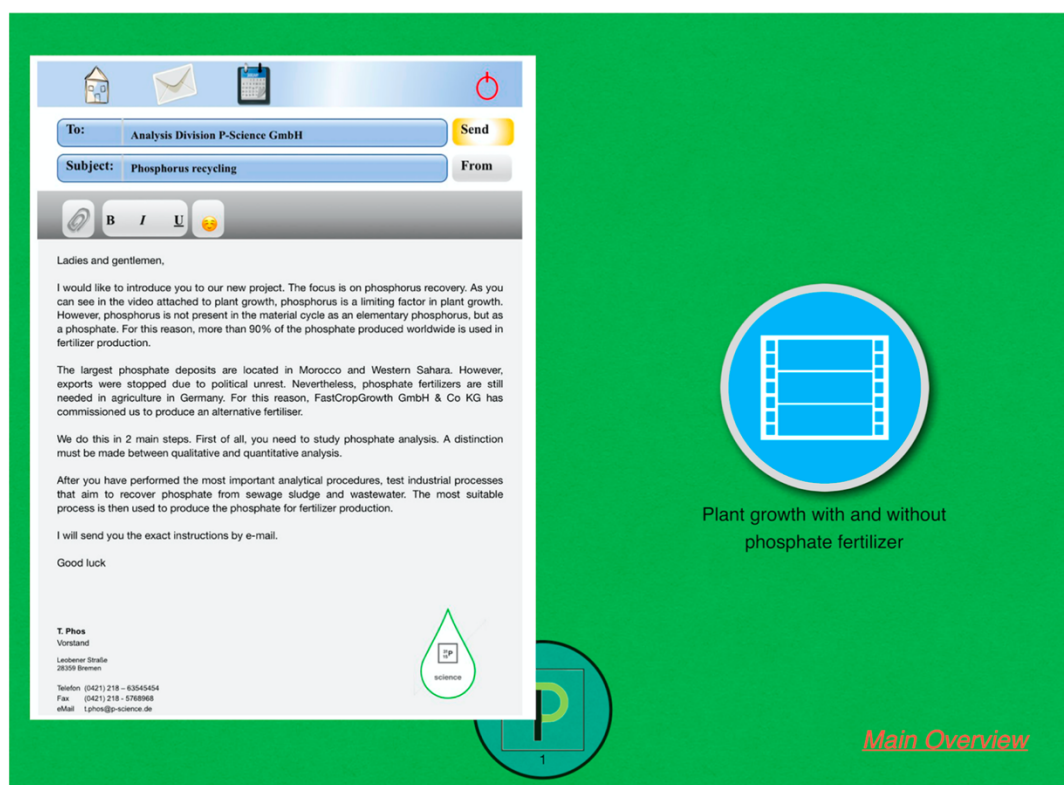


Figure 3. Introduction by an e-mail message of the management of the virtual company.

D

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c00408>
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

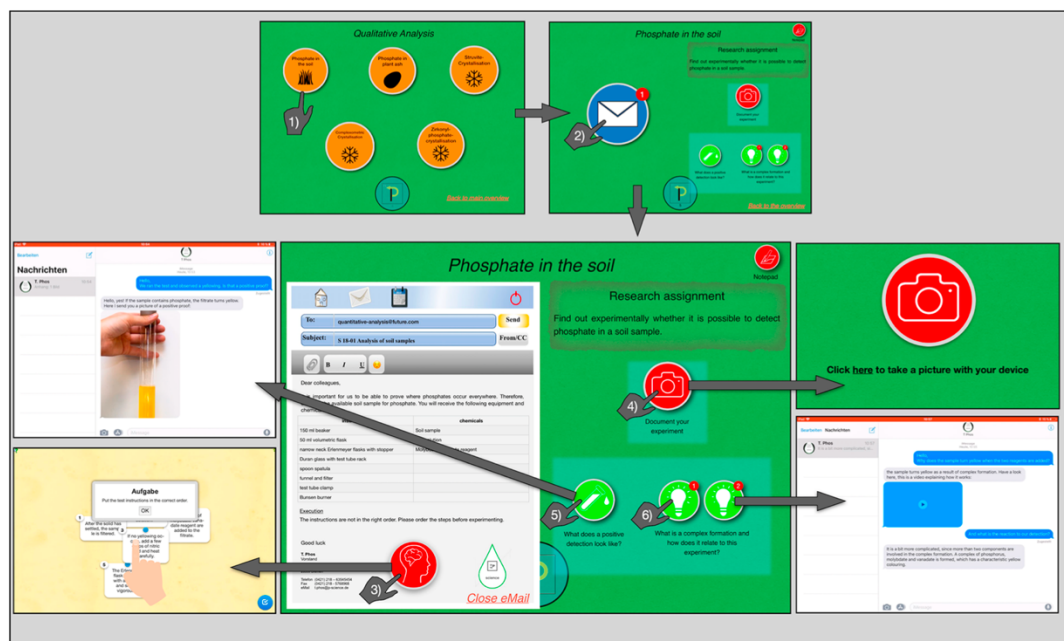


Figure 4. Overview of one qualitative synthesis: phosphate in the soil.

will assess the feasibility and efficiency of these methods according to given evaluation criteria.

In the contextualization, the class is divided into a division of qualitative and quantitative analysis. In groups of three pupils (maximum), they work through all stations of their division. For the procedures in the decontextualization period, one expert from the quantification division works together with an expert from the qualification department. Each team carries out and evaluates only one phosphorus recovery procedure. The experiment instructions and supporting materials are presented in an interactive digital learning environment that enables guided-inquiry learning.⁵ For higher authenticity, the virtual learning company instructions are designed as e-mail messages and learning aids as fictive chats with an expert. In this way, the Schülerlabor and industrial processes of environmental technology are linked to phosphate recycling.

Because of the composition of the teams and the structure of the digital learning setting, peer-to-peer support is possible, as the special procedures contain qualitative and quantitative components. The expert teams of a procedure discuss their results among themselves for evaluation. In phase 4, the evaluation of the individual procedures is presented and discussed in the plenum. This allows the advantages and disadvantages of the individual procedures to be assessed and evaluated among themselves. The following section describes the digital learning tool in detail and shows possibilities for linking formal and nonformal education in an authentic context of sustainable development.

■ A VIRTUAL LEARNING COMPANY: DIGITAL LEARNING AND EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN A MULTITOUCH LEARNING BOOK

The Multitouch Learning Book: *Phosphorus Recovery*

As described above, the pupils work in the form of a virtual learning company. Here the individual departments and areas of the virtual company are integrated into the interactive e-book. The pupils are first divided into different groups, to ensure the authenticity of the learning scenario. A multitouch learning book supports experimentation in the laboratory, for example. In this digital learning companion, the pupils receive their research assignment with the experiment instructions on one page in the form of an e-mail message, help, and work orders, as well as the possibility to communicate collaboratively with the other expert groups.²⁷

During the development of the digital learning environment, special attention was paid to individual support of the learners. For this reason, tremendous support in the form of recorded chat sequences was developed. Information in text, picture, video, and audio form is integrated into the chats so that different types of learners are addressed in the sense of individual support. The support refers to linguistic, technical, experimental, and cognitive problems.

The e-book pages shown in Figure 2 present the navigation within the multitouch learning book. After the introduction on the first page, pupils see the overview page. Here they can choose between the individual phases of the virtual learning company. The orange button leads pupils to the department selection where they work on either the qualitative or quantitative analysis. The blue button takes pupils to the overview page of the four different large-scale processes

E

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c00408>
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX



Figure 5. Overview of one quantitative synthesis, colorimetry, with research tasks (red) and support tools (blue).

(Budenheimer, Pearl, Stuttgarter, and LeachPhos processes) for phosphorus recovery, where pupils can also select their assigned process. Either from there or also via the menu, pupils can access the evaluation (yellow button) of different processes.

Part 1: Introduction. At the beginning of the unit, pupils should be sensitized to the topic “phosphates in the environment.” In a first e-mail message from the management, the urgency and importance of this topic is made clear (see Figure 3). In addition, the e-mail message contains a video that illustrates the effect of phosphate fertilizers on plant growth. The whole group should discuss together what the necessity of phosphorus recovery consists of and why the use of phosphate fertilizers is essential.

Part 2.1: Qualitative Division. One-half of the group is assigned to the division for qualitative analysis and detection of various phosphate-containing samples. Each group of three has to get to know all five different methods and perform them experimentally (see Figure 4, finger 1). A separate e-book page is available for each experiment, which is always identically structured. First, pupils receive an e-mail message from the company management (see Figure 4, finger 2) with the instruction to develop a suitable experiment. In the e-mail message, a first work order is already integrated (see Figure 4, finger 3). In the beginning, pupils should put the experiment instructions in the right order. On the right side of the e-book, the research assignment for the respective experiment is written on top. To document the experiments, pupils should take pictures of their experiments (see Figure 4, finger 4), which they will need in the further course of the experiment. If pupils still need additional help around the experiment, they can get further support by clicking the green buttons (see Figure 4, fingers 5 and 6). Throughout the presented multitouch learning book, pupils get help for experiments, language, devices, and understanding through interactive chats with their supervisor. In creating this type of assistance, authentic scenarios should help to virtually represent the situation of a real company.

Part 2.2: Quantitative Division. The division of quantitative analysis works on four detection methods for

the determination of the content of phosphate-containing substances. Four primary methods were implemented in the multitouch learning book. In addition to titration, different test sticks, and photometry, the individual groups of pupils should get to know colorimetry (for navigation, see Figure 5). As in the qualitative department, the experts for qualitative synthesis should experimentally perform and understand all four methods. As described in part 2.1, the e-book pages are also identically structured. For each experiment, pupils get an e-mail message that introduces them to their selected experiment. In contrast to the parallel group of experts, these pupils receive more support in the form of differentiating assistance for these experiments. For each experiment, an identically structured page is included in the e-book. Pupils are given additional tasks to complete in addition to the main research assignment. Figure 5 shows the uniform structure of such a page. For example, self-assessment tasks are implemented as a further cognitive exercise. In this example, pupils are supposed to sort the samples A–D according to ascending concentration and then get direct feedback from the book (see Figure 5, finger 2). The calculated concentrations are to be shared with the other groups using a collaborative tool, an interactive pinboard, so that a more accurate concentration can be determined by all groups together using shared measurement repetition (see Figure 5, finger 9).

In order to work on additional tasks, pupils also have an individual notepad in which they can note by hand their intermediate results or even thoughts (see Figure 5, finger 1). For each experiment, as well as later in the procedures, support tools throughout help pupils with the task. All individual support tools also follow a uniform format (see Figure 5, blue area).

Interactive chats with the supervisors provide pupils with experimental support as well as help in understanding the equipment and its general use. These interactive chats are also presented in various forms. Either the supervisor replies with a text only or sends supplementary images, records voice messages, or sends a video for the proper processing of the experiments, or sends explanatory videos for cognitive understanding of the experiment. In this way, pupils are

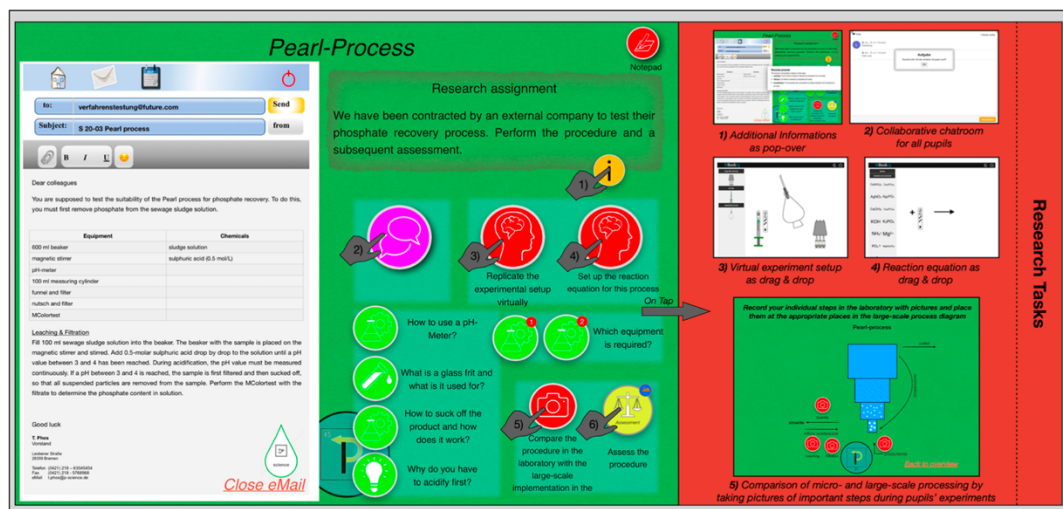


Figure 6. Overview of one phosphorus recovery process, the Pearl process.

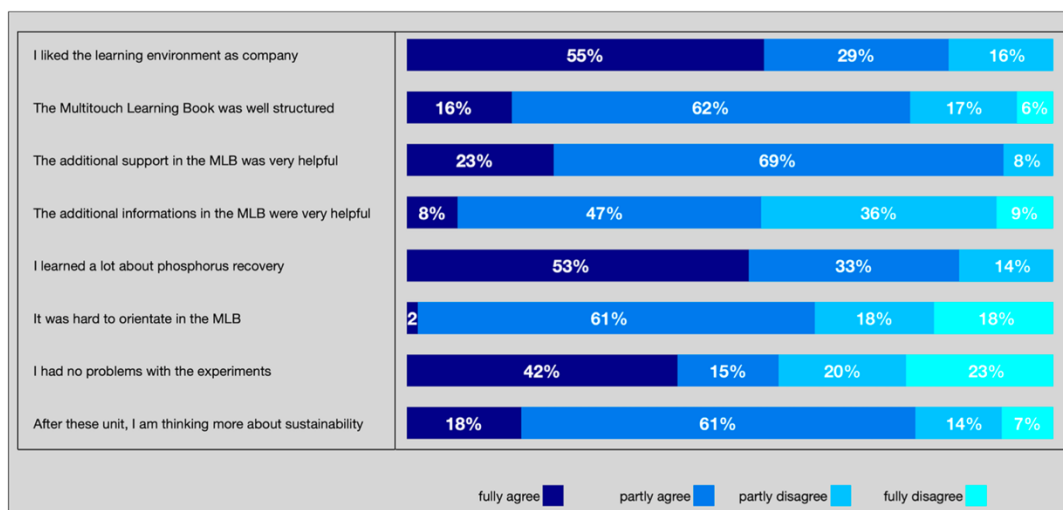


Figure 7. Percentage distribution of selected items from the results of the study on the use of the multitouch learning book on phosphorus recovery ($n = 89$).

exposed to auditive, visual, and audio-visual channels of processing, which can lead to better processing of the content in working memory. As these experiments are sometimes of high complexity, pupils must be provided with more assistance so that the knowledge they acquire can be applied to other subjects later on.

Part 3: Phosphorus Recovery Process Experiments 1–4. The central component of this entire unit is testing and evaluating various large-scale processes and downscaling these to the laboratory. Since all four processes follow a common scheme, pupils are given additional information on the general flow of such a recovery process (see Figure 6, finger 1). The individual groups of pupils are assigned one process each and

carry it out. Experts from each of the previous departments must be in the group because both technical contents are necessary for the development of an experiment. To enable the different groups to work together and share their knowledge from the previous experiments, an interactive chat was implemented in the e-book, which is displayed on all tablets simultaneously (see Figure 6, finger 2). In order to achieve the time-delayed editing of the experiment stations, a direct communication is at this point not meaningful. The chats collect all experimental results to discuss them at the end in a direct presentation.

The chat function links the individual e-books again to each other, enabling collaborative work between the various expert

groups. Further additional tasks have been inserted, in which pupils have to present their experimental setup virtually by drag and drop before they start their experiment, as well as the respective reaction equations for the experiment to be performed (see Figure 6, fingers 3 and 4). Since these procedures are unique and challenging, it is necessary to present enough supporting material that pupils can solve this experimental task as described in part 2 below (see Figure 6, green buttons). An essential part of the evaluation process of the individual procedures is the comparison between the large-scale application with the variant carried out in the laboratory. As shown in Figure 6, photo widgets are inserted to evaluate the individual components of the process to record their individual steps in the laboratory with pictures and to place them at the appropriate position in the large-scale process diagram.

Part 4: Evaluation of Phosphorus Recovery Processes. After pupils have completed all experimental and cognitive tasks the effectiveness and sustainability of the proper procedures, the expert groups discuss the different procedures (see Figure 6, finger 6). For this purpose, an interactive blackboard with keywords for evaluation is available to pupils for each process. This compilation will be discussed in a final session in the plenum. Finally, the processes should be compared with each other by all pupils together.

EVALUATION

Four classes ($n = 89$; tenth grade; ages 15–17) tested the digital learning companion and were statistically evaluated between December 2019 and February 2020. Pupils first saw the interactive learning companion in school, the formal learning location, before the actual Schülerlabor visit. The introduction to the topic (part 1) was thus carried out by the teacher beforehand. In the nonformal learning environment, pupils could experiment for 3 h. After the pupils had finished the unit, a questionnaire was filled out by them. A summary of the pupils' Likert-scaled answers is provided in Figure 7.

The digital learning environment was perceived as very positive by the pupils. In fact, 84% of respondents said that they either entirely or at least partially perceived the virtual learning company as positive. This fact also means that 86% of the pupils have learned new content about phosphorus recovery and 79% will change their awareness of sustainability after the series of lessons. Additionally, it can also be seen that the pupils have lost orientation during the experiments due to the immense processing of information. For example, 47% said that some of them had difficulties in finding their way around in the digital media. However, more than half of the pupils considered the additional information and support provided by the e-book to be helpful.

The evaluation clearly shows that the pupils were partly overloaded by the amount of material. This is shown by the fact that 62% of the pupils had difficulties finding their way around the MLB. On the other hand, 78% of the pupils say that the MLB was well structured, which in turn indicates that the lack of orientation was compensated by the clear structure. It can also be seen that many words within the MLB email layout made it easy for pupils to lose their orientation. For this reason, the authors plan to rework the e-book with fewer text passages and more visual or auditive input to provide better orientation.

CONCLUSION

The developed learning scenario of a virtual learning company (in our case phosphate recycling) was very motivating for the participating pupils. Due to a large amount of content, it could be determined that, at some point, pupils lost orientation in the e-book and therefore had to ask for help from a "real" supervisor (the teacher). In addition, the support tools in the analog version were used much less, which resulted in increased frequency in the request for the supervisors. Multitouch learning books are well suited to make complex content available to pupils in a structured way compared to analog use of pen and paper. In particular, the previously presented materials show that nonlinear guidance promotes individual learning. Further studies will also look at how a more structured presentation of the individual e-book pages can help to promote self-regulated learning and thus also support individual solutions. In addition to the motivational skills of this learning unit, the presented study shows that pupils have generally developed a better awareness of sustainability. By using a context-oriented series, it can therefore lead to the pupils being more aware of their environment and transforming this into their everyday life. The digital learning company can also be used to support pupils in their career orientation. Working as experts and evaluating processes also enhances the pupils' experience of autonomy, which can increase the awareness of self-regulated work and learning.

The e-book described here was created with the program iBooks Author, enriched with interactive widgets (especially from Learningapps and Bookry) and can be downloaded via Dropbox at the link provided below. Thus, the resource offers good accessibility to external tools, but this also creates a strong dependency. In addition, the book presented is only accessible via iOS, iPadOS, and macOS devices, which automatically excludes other systems. For this reason, it would be preferable to have a platform-independent program that allows such interactive books to be provided to pupils independently of the equipment, while at the same time ensuring interactivity.

AUTHOR INFORMATION

Corresponding Authors

Johannes Huwer – Science Education, University of Konstanz, Konstanz 78457, Germany; orcid.org/0000-0002-4271-7822; Email: johannes.huwer@uni-konstanz.de

Johann Seibert – Physical Chemistry and Didactics of Chemistry, University of Saarland, Saarbrücken 66123, Germany; Science Education, University of Konstanz, Konstanz 78457, Germany; orcid.org/0000-0002-5967-489X; Email: johann.seibert@uni-saarland.de

Authors

Isabel Schmoll – Chemistry and Chemistry Education, Weingarten University of Education, Weingarten 88250, Germany

Christopher W. M. Kay – Physical Chemistry and Didactics of Chemistry, University of Saarland, Saarbrücken 66123, Germany; London Centre for Nanotechnology, University College London, London WC1H 0AH, United Kingdom; orcid.org/0000-0002-5200-6004

Complete contact information is available at:
<https://pubs.acs.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c00408>

H

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c00408>
J. Chem. Educ. XXXX, XXX, XXX–XXX

Notes

The authors declare no competing financial interest. The Multitouch Learning Book (.ibook) is available here: <https://www.dropbox.com/s/n2mos1ogi6v2l2o/Phosphor-R%C3%BCckgewinnung-english.ibooks?dl=0> (accessed 2020-08-21).

■ ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) for financial support (Grant number Az. 33729).

■ REFERENCES

- (1) Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs (KMK). The Standing Conference's "Education in the Digital World" Strategy Summary, 2016. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/KMK-Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_Zusammenfassung_en.pdf (accessed 2020-08-21).
- (2) Huwer, J.; Brünken, J. Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht (Individualization with Tablet Computers in Chemistry Education). *Computer + Unterricht* **2018**, *110* (30), 7–10.
- (3) Huwer, J.; Eilks, I. Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung (Multitouch Learning Books for Formal and Non-formal Learning). In *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*; Schanze, S., Groß, J., Eds.; Joachim Herz Stiftung: Hamburg, Germany, 2017; pp 81–94.
- (4) Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O.; Eilks, I. Phosphate Recovery as a Topic for Practical and Interdisciplinary Chemistry Learning. *J. Chem. Educ.* **2019**, *96* (12), 2952–2958.
- (5) Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A.; Eilks, I. Phosphorus—A "Political" Element for Transdisciplinary Chemistry Education. *Chemistry Teacher International* **2019**, DOI: 10.1515/cti-2018-0020.
- (6) Kieserling, M.; Melle, I. Digitisation in Chemistry Lessons—An Experimental Digital Learning Environment with Universal Accessibility. *Chemistry Teacher International* **2019**, *1*, 2569–3263.
- (7) Greitemann, L.; Melle, I. Transferring and Optimizing a Laptop-based Learning Environment for the Use on iPads. *World J. Chem. Educ.* **2020**, *8* (1), 40–46.
- (8) Peraza-Garzon, J. F.; Estrada-Lizarraga, R.; Zaldivar-Colado, A.; Mendoza-Zatarain, R.; del Carmen Olivarría-González, M.; Zaragoza González, J. N.; Cobán-Campos, J. A. Implementation of "iBooks Author" on the Development of Learning Objects on Blended Learning Education. *INTED2013 Proc.* **2013**, 6320–6325.
- (9) Zeller, D.; Bohrmann-Linde, C.; Kläger, S. Digital Learning Tools for Teaching "Alternative Solar Cells with Titanium Dioxide" (ALSO-TiO₂) – A Contribution to Sustainable Development Education. *World Journal of Chemical Education* **2020**, *8* (1), 29–39.
- (10) Bohrmann-Linde, C.; Kleefeld, S. Can You See the Heat?—Using a Thermal Imaging Camera in the Chemistry Classroom. *World Journal of Chemical Education* **2019**, *7* (2), 179–184.
- (11) Franco, J.; Provencher, B. Using a Multitouch Book to Enhance the Pupil Experience in Organic Chemistry. *J. Chem. Educ.* **2019**, *96* (3), 586–592.
- (12) Huwer, J.; Bock, A.; Seibert, J. The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *Am. J. Educ. Res.* **2018**, *6* (6), 763–772.
- (13) Seibert, J.; Kay, C. W. M.; Huwer, J. EXPLAINistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Pupils Understand Molecular-Level Interactions. *J. Chem. Educ.* **2019**, *96* (6), 2503–2509.
- (14) Seibert, J.; Luxenburger-Becker, H.; Marquardt, M.; Lang, V.; Perels, F.; Huwer, J.; Kay, C. W. M. Multitouch Experiment Instruction for Better Outcome in Chemistry Education. *World J. Chem. Educ.* **2020**, *8* (1), 1–8.
- (15) Seibert, J.; Marquardt, M.; Pinkle, S.; Carbon, A.; Lang, V.; Perels, F.; Huwer, J.; Kay, C. W. M. Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book. *World J. Chem. Educ.* **2020**, *8* (1), 9–20.
- (16) Seibert, J.; Marquardt, M.; Gebhard, M.; Kay, C. W. M.; Huwer, J. Augmented Reality zur Visualisierung der Teilchenebene am Beispiel des Li-Ion Akkus (Augmented Reality for Visualization at Particle Level in a Li Ion Accumulator). *Naturwiss. Unterr.* **2020**, *177*/178, 86–89.
- (17) Huwer, J.; Seibert, J.; Brünken, R. Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln (Multitouch Learning Books as Experiment Instructions for Inquiry-based Learning about Sweeteners). *Math. Naturwiss. Unterr.* **2018**, *3*, 181–186.
- (18) Probst, C.; Seibert, J.; Huwer, J. Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion—To-Do Apps und Multitouch Experiment Instructions als Instrumente zur Förderung der Selbstregulation (Didactical Science and Inclusion—To-Do Apps and Multitouch Experiment Instructions as an Instrument to Promote Self-Regulated Learning). *Computer + Unterricht* **2020**, *117*, 14–18.
- (19) Markic, S.; Abels, S. *Science Education towards Inclusion*; Nova Publishing: New York, 2016.
- (20) Garner, N.; Hayes, S. M.; Eilks, I. Linking Formal and Non-formal Learning in Science Education—A Reflection from Two Cases in Ireland and Germany. *Sisyphus Journal of Education* **2014**, *2* (2), 10–31.
- (21) Markic, S.; Eilks, I.; di Fuccia, D.; Ralle, B. Heterogeneity and Cultural Diversity in Science Education and Science Education Research; Shaker: Aachen, 2012; p 239.
- (22) Markic, S.; Wichmann, J.; Affeldt, F.; Siol, A.; Eilks, I. Promoting Education for Sustainability for All Learners by Non-formal Chemistry Laboratories. *Daruna* **2017**, *44*, 44–53.
- (23) Rauch, F. Education for Sustainable Development and Chemistry Education. In *Worldwide Trends in Green Chemistry*; Zuin, V., Mammino, L., Eds.; The Royal Society of Chemistry, 2015; pp 16–26.
- (24) Burmeister, M.; Rauch, F.; Eilks, I. Education for Sustainable Development (ESD) and Chemistry Education. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2012**, *13*, 59–68.
- (25) European Commission. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Liste kritischer Rohstoffe für die EU, 2017. (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU.) <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EN/COM-2017-490-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF> (accessed 2020-08-21).
- (26) Gulacar, O.; Zowada, C.; Eilks, I. Bringing Chemistry Learning Back to Life and Society. In *Building Bridges across Disciplines for Transformative Education and a Sustainable Future*; Eilks, I., Markic, S., Ralle, B., Eds.; Shaker: Aachen, 2018; pp 49–60.
- (27) Johnson, D. W.; Johnson, R. T. Cooperative Learning in 21st Century. *Anales de Psicología* **2014**, *30* (3), 841–851.

2.3.5. Multitouch Experiment Instructions für ein besseres Lernergebnis im Chemieunterricht

Ein Multitouch Learning Book, wie sie in den Abschnitten zuvor beschrieben wurden, können modular aufgebaut sein. Diese einzelnen Module können technisch auf verschiedene Wege realisiert werden (Huwer, Seibert & Brünken, 2018). Eine Möglichkeit hierfür wäre eine multimedial angereicherte und interaktive Experimentalanleitung, eine sog. Multitouch Experiment Instructions (MEI), zur Förderung des individuellen Lernens im Fach Chemie beim forschenden Experimentieren. Innerhalb dieses Abschnittes soll thematisiert werden, wie die Selbstregulation von Schüler*innen durch den Einsatz einer Multitouch Experiment Instruction verbessert werden kann. Zusätzlich soll erläutert werden, welchen Einfluss fachlicher, fachdidaktischer, pädagogisch-psychologischer und mediendidaktischer Überlegungen auf die Selbstregulation von Schüler*innen hat.

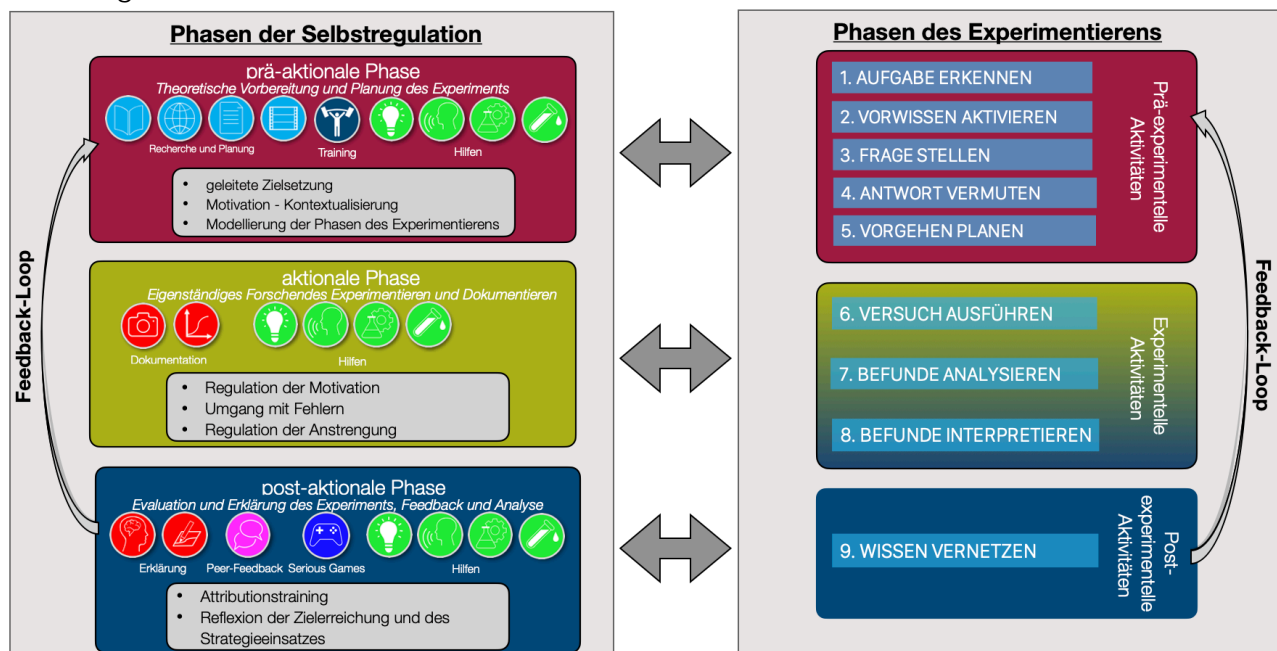


Abbildung 9 Vergleichende Darstellung der Phasen der Selbstregulation nach Zimmermann (2000) und der Phasen des Forschenden Lernens nach Neber & Anton (2007)

In Anlehnung an die Gestaltungsprinzipien der CTML (Mayer, 2009) wurden bereits etablierte und evaluierte Schülerlaborexperimente um die mediale Komponente „MEI“ erweitert, damit dadurch ein individuelles Experimentieren ermöglicht wird. Um das selbstregulierte Lernen, den digitalen Kompetenzerwerb und die experimentellen Fähigkeiten von Schüler*innen beim Forschenden Experimentieren zu verbessern, wurde ein bereits etablierter Schülerlaborversuch "Analyse von Alkanen" in Form einer Multitouch Experiment Instruction als volldigitales interaktives eBook überarbeitet. Innerhalb dieses Experimentalmoduls erhalten die

Schüler*innen verschiedene Forschungsaufträge in einem klar strukturierten Schema. Jeder einzelne Forschungsauftrag bekommt seine eigene eBook Seite und entsprechende differenzierende Aufgaben- und Hilfestellungen. Durch diese Struktur sollen Gemeinsamkeiten des Forschenden Experimentierens nach Neber und Anton (2007) und den drei Phasen des Selbstregulierten Lernens nach Zimmermann (2000) hervorgehoben werden (siehe Abbildung 9). Innerhalb des Erkenntnisgewinnprozesses durchlaufen die Schüler*innen diese drei Phasen. Mit ausgewählten Widgets wird im Speziellen durch Multitouch Experiment Instructions die Selbstregulation gefördert.

Publikation J:

Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education

Johann Seibert¹, Heike Luxenburger-Becker¹, Matthias Marquardt², Vanessa Lang¹, Franziska Perels³, Christopher W. M. Kay¹ and Johannes Huwer⁴

Eingereicht am 05. Januar 2020

Angenommen am 14. Februar 2020

Publiziert am 05. März 2020

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Heike Luxenburger-Becker, Matthias Marquardt, Vanessa Lang, Franziska Perels, Christopher W. M. Kay and Johannes Huwer, World Journal of Chemical Education, 2020, 8(1), 1-8.

Copyright © 2020, Science and Education Publishing

DOI: 10.12691/wjce-8-1-1

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation ausgewertet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Realschule plus Kell am See, Schulstraße 12, 54427 Kell am See

³Universität des Saarlandes, Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

⁴Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education

Johann Seibert^{1,4,*}, Heike Luxenburger-Becker¹, Matthias Marquardt¹, Vanessa Lang¹,
Franziska Perels², Christopher W. M. Kay^{1,3}, Johannes Huwer⁴

¹Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, University of Saarland, Saarbrücken, Germany

²Department of Educational Sciences, University of Saarland, Saarbrücken, Germany

³London Centre for Nanotechnology, University College London, London WC1H 0AH, UK

⁴Chemistry and Chemistry Education, University of Education Weingarten, 88250 Weingarten, Germany

*Corresponding author: johann.seibert@uni-saarland.de

Received January 05, 2020; Revised February 14, 2020; Accepted March 05, 2020

Abstract Multitouch Experiment Instructions (MEI) are interactive multimedia eBooks as a full-digital or Augmented Reality (AR) Instructions as a digital-augmented material for the individual promotion of learning while experimenting in chemistry lessons. They provide a digitized experimental instruction, which is made to support both cognitive weak and strong pupils in the sense of individualization. The aim of the MEI project is to improve pupil's self-regulated learning using a digitized experimental manual which is based to main results of didactic and scientific learning. Initial research results have shown that the presentation of information follows a structured learning process. To connect the promotion of self-regulated learning, digital competences and experimental skills an existing experiment "Characterization of Alkanes" has been digitalized as one Multitouch Experiment Instruction.

Keywords: ICT, science education, digital media, chemistry education, middle school, high school, multimedia learning

Cite This Article: Johann Seibert, Heike Luxenburger-Becker, Matthias Marquardt, Vanessa Lang, Franziska Perels, Christopher W. M. Kay, and Johannes Huwer, "Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education." *World Journal of Chemical Education*, vol. 8, no. 1 (2020): 1-8. doi: 10.12691/wjce-8-1-1.

1. Introduction

Digital media has become essential tools in all aspects of life including education. In 2016, the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs in Germany (KMK) already adopted the "Competences in the Digital World" [1] and the German government implemented the Digital Pact. This regulation intends to make schools fit for the digitalized future and provide financial support for their digital equipment. In the future, all types of schools can be equipped with information and communication technology (ICT). Unfortunately, there still is a lack of adequate applications. Mainly responsible for this is a lack of practical and easy-to-use materials. Since ICT should not replace but more remain a tool that supports way of teaching, we will describe a competence-oriented method that can be used with or without digital input.

2. Multitouch Experiment Instructions as a Learning Tool in Science Education

Digital media can be included in teaching in many different ways. The competences in the digital world

demand by the KMK promotes the necessity to use digital media in schools. However, such use should be directly targeted and not only reflected, which is why the benefit for the classroom is paramount in all our research projects. Digital media can fulfil three functions in science education. As *learning tools*, they enrich learning in the current teaching situation and support cognitive processes. These include, for example, explanatory videos created by pupils or Augmented Reality (AR) applications [2,3]. As *learning companion*, they support learning over a longer period of time and beyond the classroom at the same time. These companions furthermore help to link the different learning locations - formal, informal and non-formal. Multitouch Learning Books, an example for a learning companion, are also designed to accompany the learning process [2,3]. A sub-category of these -so-called Multitouch Experiment Instructions (short: MEI) -place the actual experiment in the foreground and further integrate it into the ongoing lessons [4]. As *experimental tools*, ICT can aid pupils while experimenting, for example, when using wireless measurement sensors or thermal imaging cameras.

2.1. Characterization of Multitouch Experiment Instructions

Well-known representatives of digital learning companions

are the Multitouch Learning Books (MLB), which are enriched with various digital/interactive tools [5,6]. As Huwer, Seibert & Brünken [7] have shown, a Multitouch Learning Book consists of various smaller "modules" that can also be used individually. Such a module can be an interactive, medially enriched experimental instruction, a Multitouch Experiment Instruction (MEI). Technically there are different forms of Multitouch Experiment Instructions. There are two options to design a MEI: The instructions can be completely digital or a combination of digitally enriched analogue experiment instructions (e.g. with augmented reality). Both variants have specific advantages that can be used depending on the situation. The completely digital variant is easier to integrate into a multitouch learning book and serves primarily to document the learning process. The Augmented Reality and the eBook variant have the advantage that it delivers information, on demand 'and can reduce split attention effects. With both variants, additional small widgets can be integrated, e.g. as learning success control, or visualizations, which can be edited.

The experiment is indispensable in chemistry lessons and is usually the central element of them. The additional multimedia materials, such as worksheets, animations or step-by-step aids, are integrated directly into the eBook or AR-learning environment in the course of individual

support for tasks and experiments, so that the risk of a split attention effect is minimized [8]. The special feature of the Multitouch Experiment Instruction is the possibility of new learning formats. In addition to a classic linear representation, this eBook variant can also be non-linear or modular in structure, which enables the selection of individual learning paths or thematic contexts [9]. Progress in the book can also be linked at a certain point to a condition, such as solving a problem. This promotes research-based-learning for example because results are not anticipated. Through the opportunities for personalization, such as the documentation of learning outcomes, the creation of a glossary, the integration of interactive tasks, training, assistance, games or multimedia content, this eBook or augmented version becomes a learning companion that can adapt to the learner depending on the scope of functions [10]. Our studies have shown that it is helpful from a learning psychological point of view to provide the widgets with a different interface so that unimportant information is hidden [5]. In addition, a number of new widget categories have been developed in previous research projects (e.g. learning target differentiating, individual assistance, communication, collaboration...). Huwer & Eilks [11] critically describe the use of didactically non-reflected media could result out of many advantages of such a learning companion.

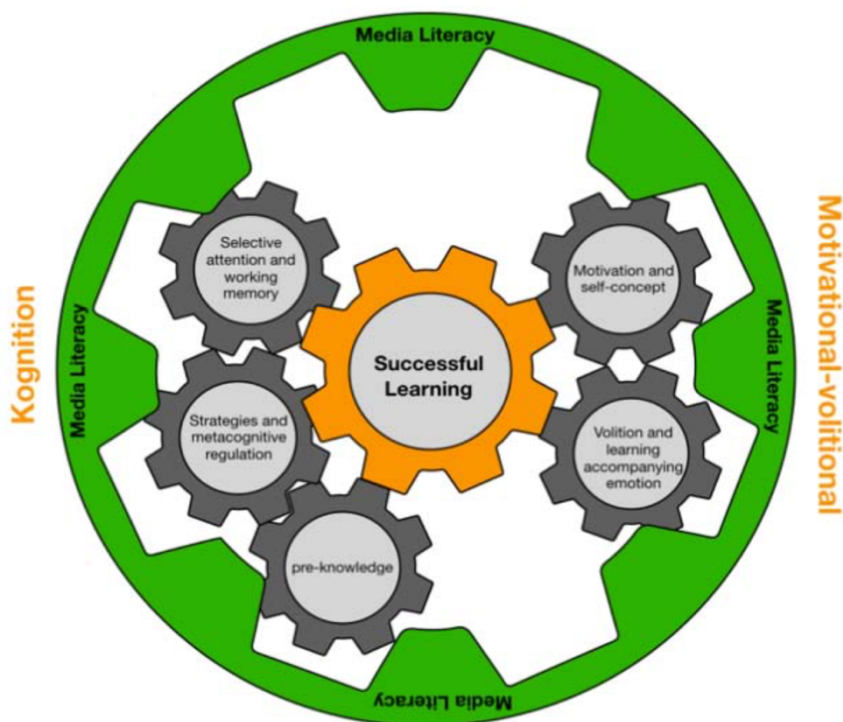


Figure 1. D-INVO-model adapted to the INVO-model [13]

2.2. Multitouch Experiment Instructions in School

2.2.1. MEI in Self-Regulated Learning Settings in School

Especially due to the increasing diversity in German schools, the focus should be tailored to individual learning processes. Here in particular, digital media can play to their full potential [2]. Our project *MEI* aims to create digital teaching material with the focus on competence acquisition in the digital world, taking into account empirically founded aspects such as the Cognitive Load Theory of Multimedia Learning (CLTML) [12]. Ideally, this could lead to a promotion of self-regulated learning (SRL) in consideration of CLTML and the didactic functions of digital media for deeper cognitive processing and a more sustainable acquisition of competence. The *D-INVO model* establishes the connection between Digital, Individual prerequisites (German: Individuelle Voraussetzung) and successful learning [13]. [S] strategies and metacognitive regulation, 'elective attention and working memory' and, prior knowledge' are the three defined cognitive prerequisites. In the area of motivation and volition, predictors are also mentioned: "motivation and self-concept" and "volition and emotions accompanying learning". Accordingly, learning situations should be motivating, stimulate prior knowledge and also ensure that the pupils' attention is focused on the object of learning. A pleasant atmosphere during work also promotes successful learning and experience a positive self-concept, following this model. In addition, the pupils' learning process is supported even more if they can apply meta-cognitive strategies. As a direct consequence, pupils have unequal chances of successful learning due to their different preconditions, partially caused by the diversity of the learning group. The use of digital media opens up the opportunity to offer every learner the same learning success. The learning offer must therefore be adapted to the pupils' competence and prior knowledge [13]. The differences between pupils should be perceived and valued [14,15]. Experiments, therefore, can be differentiated according to various criteria. Differentiations according to performance (adjusting the degree of difficulty of tasks), learning speed (having several tasks processed) or interest (independent selection of tasks from a task pool) are feasible [14,15]. The *D-INVO model* can thus be used to describe the promotion of successful learning with the help of digital media. Due to the diversity of digital media, it can help to improve the individual factors of this model in a targeted way. Figure 1 illustrates this potential.

Conceptually, learning science aspects can thus be related to digital tools and chemical didactic aspects. With the help of ICT various tools could be made available to promote motivation and (meta-)cognition processes. The experimental input contains three basic aspects that can furthermore be divided into the three phases of self-regulated learning [16].

2.2.2. Didactical Functions of MEI

When preparing the materials, both scientific learning and media-pedagogical aspects are taken into consideration.

On the basis of already published research results on digital functions of tablets in chemistry classes and Schülerlabors as well as the use of multitouch learning books as learning guides, the MEIs are specifically tailored to an experiment [5]. The cognitive learning processes are given special attention when creating individual tools in the eBook. Basic aspects of CLTML [12] play a central role in the arrangement and structuring of digital materials. Particular importance is attached here to the fact that a clearly structured user interface and clear presentation of the assistance avoid a split attention and instead generate an overlay attention. Overall, the implementation of MEIs is intended to promote self-regulated learning by pupils. This self-regulated learning can be divided into three main phases, which are very similar to the planning, implementation and evaluation of one's own experimentation. In the *preexperimental phase* the focus is on the theoretical preparation of the experiment. For the *experimental phase*, the pupils should experiment independently and monitor and document their results. The *post-experimental phase* involves the evaluation of the results, with the pupils receiving direct feedback on their experiment in order to be able to analyze and reflect on the results. To promote one important meta-cognitive component of SRL - self-monitoring and self-reflection of the experiments a learning diary is used which additionally contributes to the evaluation of the course through regular feedback to the teacher.

2.2.3. Educational Use of MEI

A Multitouch Experiment Instruction is an interactive eBook or an Augmented Reality on an experimental instruction paper. In addition to the eBook or the AR, the pupils are provided with the standard laboratory equipment for experimenting. The MEI serves as a learning tool to support the pupils in case of difficulties. This support can be experimental, device-, speech- or comprehension-driven. In addition to these individual (possibly stepped) support, the pupils* have the opportunity to document and explain their results from the experiment directly in the eBook. The chemical experiment is by no means replaced, but merely supplemented by a digital learning tool to promote cognitive but also motivational processes. A MEI is a digital and above all interactive experimental instruction for improved individual support in research experiments. Apart from the normal experimental effort, no further preparations have to be made at school or in the Schülerlabor. The finished MEIs are stored as eBooks on iPads and can be retrieved at any time.

2.2.4. Added Value of MEI for Self-Regulated Learning

The experiment, planned in the form of a MEI, is intended to motivate and inspire pupils to study chemistry. This goal is to be achieved by means of predominantly pupil-centered, independent work, the use of the experiment as a central component of chemistry teaching in the individual subunits and the use of digital media. Through the only isolated teacher-centered phase, the teacher is available to the learners as an (additional, analogue) learning companion in a large part of the experimental free-work or exercise phases and can thus also provide individual support and differentiated individual counselling. The design of the MEI in the form of a "research journal"

with instructions, experimental instructions, support, exercises, tests, feedback forms as well as logging and documentation functions enables self-responsible, self-regulated and thus missing evidence. By incorporating various feedback functions into the MEI, such as the self-assessment form for work organization and experimental competence or for technical competence, feedback can be immediate, situational, multidimensional and transparent and therefore supportive for self-reflective processes. In addition, a further feedback tool ensures that the learning progress of the individual pupils remains transparent and that any comprehension or experimental problems can be recorded directly.

This high level of individualization is reinforced by the fact that diagnostic tools are made available to the teacher on the basis of the feedback functions and the creative learning products of the pupils, enabling the implementation of a support cycle.

The "main innovation" of the planned teaching unit, besides the almost exclusively digital implementation, is the already mentioned self-evaluation feedback tools for the pupils. The self-evaluation questionnaire on work organization and experimental competence was conceived in two variants, which differentiate between linear and the much more complex, non-linear learning path. The evaluation of these feedback questionnaires can provide both the learner and the teacher with information on which competences can still be promoted in experimenting and evaluating experiments.

The self-assessment questionnaire on professional competence is the most complex feedback tool to be used in this teaching unit. Can-lists were developed, with the help of which the pupils can assess their level of knowledge and understanding in each subunit of the Alkane topic. In order to check the "Can - statements", the pupils are provided with appropriate examples of tasks including solutions; solving and comparing their own solution with the sample solution increases the significance and objectivity of the feedback. If learners are unconfident enough about a certain topic, additional offers are available to them in the form of tips for repetitive activities and exercise possibilities (with solutions) as learning aids. This combination of self-evaluation and self-diagnosis tool promotes reflection on one's own learning (metacognition). From the joint discussion of the results, agreements can be made to optimize the learning process with objectives. Both for the self-evaluation and especially for the peer and lesson evaluation, binding rules have to be developed and practiced together with the pupils in order to avoid problems concerning the communication and relationship level of the feedback provider and receiver and to implement a trusting feedback culture in the course. This can prevent problems that may arise in the course of feedback events.

3. Characterization of Alkanes with the help of a Multitouch Experiment Instruction as an interactive eBook

For the completely digital version, the program eBooks Author® is a good choice. It functions as a classic

WYSIWYG editor (what you see is what you get), making it the tool of choice for inexperienced users. Many ready-made widgets are available to the user, which can be scaled, positioned and edited analogously to the standard text processing tools. The program also offers the opportunity to add several widgets as interactive tools. This additional flexibility allows the content to be prepared and visualized in a variety of ways, e.g. multimedial, multimodal and/or interactive [17]. Thus, one combines an analogous experiment manual with the advantages described by Weidenmann [18], which multimedia content can bring with it. These contents or aids can be texts, pictures, videos and animations which are presented at the places where the pupils need them.

Using a relevant content, which is anchored in the curriculum of the tenth grade, the pupils themselves research the properties of gaseous and liquid alkanes. In addition to the relevant context for the pupils, the experiment itself and the explanation at the particle level will be at the forefront of the lesson.

The aim in creating the materials was a consistently structured design of the materials in order to keep the cognitive load as low as possible through the presentation of the materials. The center of the eBook is the navigation page (see Figure 2). From there, the pupil can select his task and choose his own learning path. Figure 2 presents the center side. The figures show which action can be triggered on the page. By clicking on information button (see Figure 3, Tap 1.), the available materials are shown in text and image. These pictures are shown in the complete course of the eBook at the appropriate places as material aids.

By clicking one of the four experiment buttons (see Figure 3, Tap 2., 3., 4 and 5.), the pupil can navigate to the experiment of his own interest. All experiment pages have the same structure. In the lower right corner, the pupil can navigate back to the main page any time. When working with a Multitouch Experiment Instruction for the first time, the icons should be thematized with the pupils. On page 1 there is a short overview of the buttons that appear in the book (see Figure 4.). The color of the icons plays an important role in using the MEI. Red icons define tasks that have to be done. Green icons are used for differentiation with the help of various (possibly staggered) hints. At least two required steps must be completed on each task on page. On the one hand the experimental instruction and on the other hand the documentation and explanation of the respective experiment. Figure 5 shows an example of one of the pages.

On the left half (marked blue) are the exercise for the experiment (see Figure 6). The experiment should always be documented. By clicking the camera button, the camera opens and up to five pictures of the experiment can be taken to document the progress (see Figure 6, Tap 1.). The pupil can also import images from the tablet image gallery. On the one hand this task has the function to document the experiment and on the other hand the execution can be reflected afterwards. Thus, only this simple but effective exercise can promote self-reflection processes of the pupils. Besides the documentation and observation of the experiment, the experiment has to be explained. For this purpose, the second button (see Figure 6, Tap 2.) is provided. Behind this exercise there is a gap text, which explains the chemical content on particle level, realized as by a drag-and-drop widget.

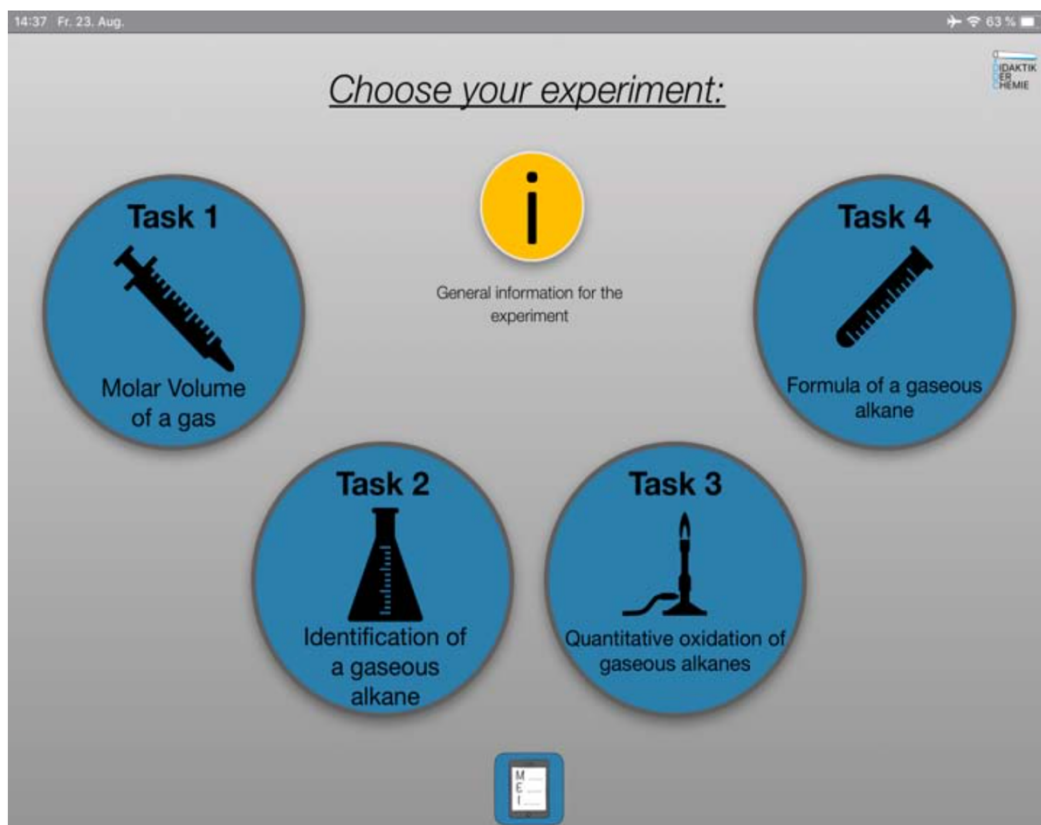


Figure 2. Overview of the experiments

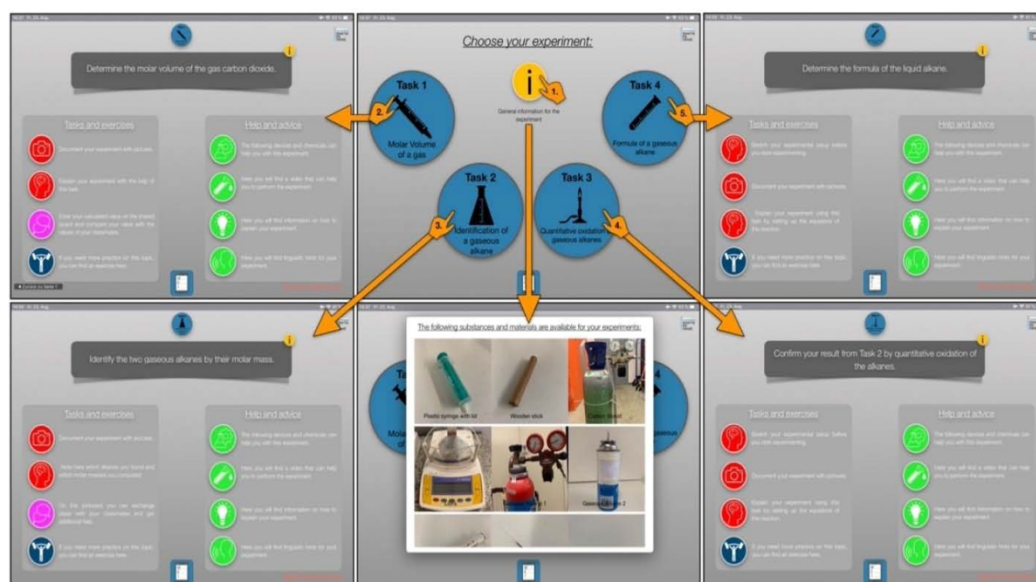


Figure 3. Structure and overview of the eBook



Figure 4. Buttons in a Multitouch Experiment Instruction

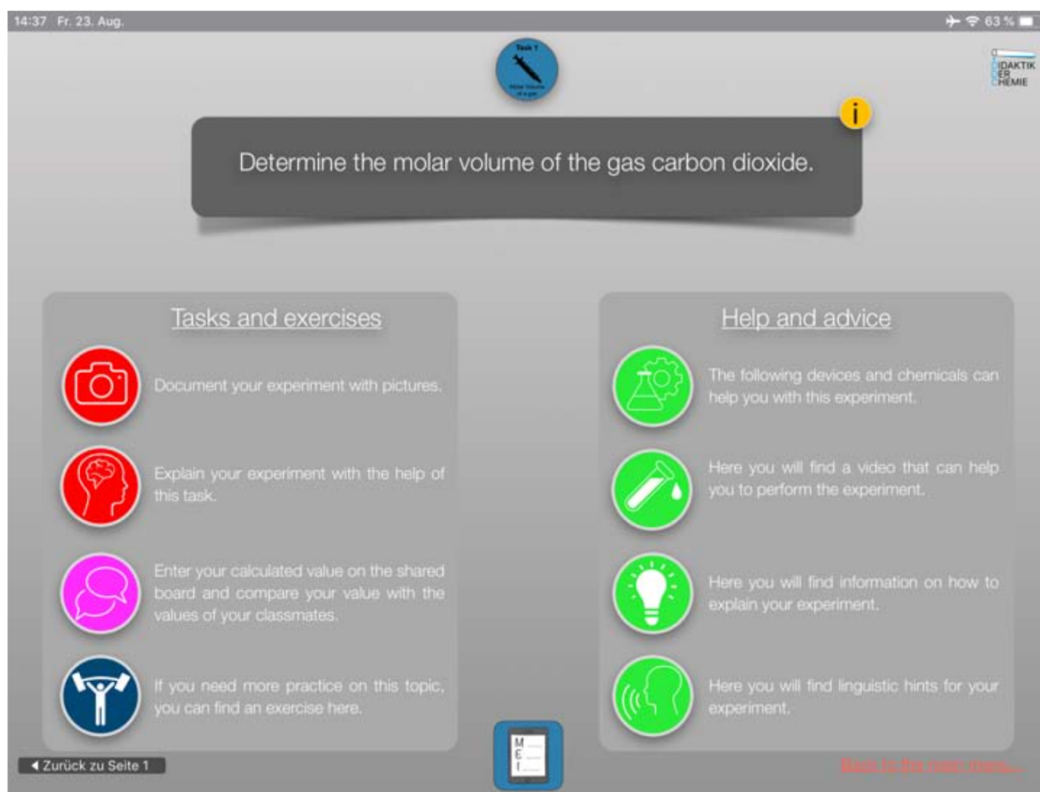


Figure 5. First experiment page with all tasks and helps



Figure 6. Design and arrangement of one experimental task (here task 1)

After the pupils have performed this experiment, it is corrected by a Peer-2-Peer feedback. To promote communication and collaboration between the pupils, the pink button (see Figure 6, Tap 3.) opens a split pinboard that can be edited by any device. Thus, the pupils can share the results on demand and get additional ideas and control. The pupils will find a further possibility for differentiation behind the training button (see Figure 6, Tap 4.). This task can be done by pupils who have already completed and by pupils who are weak and want to repeat the content. This exercise repeats the basic knowledge necessary to complete the main experiment. After completing these three tasks and the experimental instruction, this section is finished. If, however, the pupils need further assistance in planning, conducting and explaining the experiment, they have the opportunity to obtain additional information. The right half of the page (marked green) is intended for this purpose. On all four experimental pages the pupils will find four different ways to help them. Behind the button for equipment help (see Figure 6, Tap 5.) pictures of the equipment is given. For the semantization, pictures and words of the equipment are used in order to enable an optimal individualization. If the pupils have problems with the actual execution of the experiment, they get a short video by clicking the experimental help button (see Figure 6, Tap 6.), which shows a possible procedure of the experiment. Here the pupil can reflect on his own experiments and correct them if necessary. In order to promote the ability to explain the chemical experiment, there is also a short video behind the comprehension help (see Figure 6, Tap 7.) to understand, which repeats or explains the chemical content of the experiment. In this case, the focus is on the help for the preparation of the gap text (see Figure 6, Tap 2.).

This help focuses above all on the promotion of cognitive processes, so that the connection between the experimentally observed and the cognitively explained is enhanced. In the context of individual language training in chemistry lessons, a series of specialist vocabulary is provided behind the button for language aids (see Figure 6, Tap 8.) to explain the experiment correctly. Here the vocabulary can help with the observation, as well as with the explanation of the experiment. This kind of help not only supports pupils who have a weak command of the language, but also native speakers who do not have a sufficient specialist vocabulary.

4. Conclusion

Multitouch Experiment Instructions have the advantage for the teacher that digital aids, tasks and visualizations can be well organized. This means if the materials are used again, there is no need to sort them, check them for completeness or even replace them like the analogue equivalents. In this case the temporal advantage becomes noticeable with regard to the administration of the materials. This temporal advantage also results on the part of the pupils, who can specifically seek help, since the system behind the help types and symbols remains unchanged and the help is offered with the respective exercises. The organizational advantage of the materials also makes it possible to individualize them more effectively without making them confuse for the pupils with a stack of help cards. For the learner this means on the one hand that the experiment can be made more open and that the pupil can receive help in small steps if necessary, without the experiment having to be interrupted

by leaving the workplace and searching through the help cards. We designed it to initiate cognitive processes, and to support mental models by a wide variety of presentation options and contents. Also, the possibility of varying representations can thus promote cognitive flexibility, enabling pupils to choose suitable forms of representation while solving problems. At the same time competences in the digital world are promoted, whereby the category "Use digital tools and media for learning, working and problem solving" is in the foreground.

In general, one can offer many different types of help at the appropriate places without the pupils having to search for the suitable help (e.g. help cards) first (information on demand). Pupils have a single document and the help is displayed in the appropriate places if the tablet so desires. A defined, memorable symbolism ensures that pupils who need language help, for example, can also specifically select them. A further advantage of the MEI is that dynamic content can also be displayed dynamically on the experiment instructions, whereas previously one had to resort to an image sequence.

First experiences have shown that through the use of MEI the pupils are much more motivated and interested in performing the experiment. However, it was also noticed that the first time using MEI in a class, a certain amount of introduction is necessary in order to minimize the cognitive load caused by the "new" materials.

Supporting Information

All materials including the interactive MEI in English and in German can be seen and downloaded from our homepage <https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-didaktik/downloads/>.

Acknowledgements

We would like to thank the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for funding our work on individualization as part of the Qualitätsoffensive Lehrerbildung (SaLUt II project).

References

- [1] KMK (2016). The Standing Conference's "Education in the Digital World" strategy Summary.
- [2] Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXPLAINistry - Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 42-46.
- [3] Seibert, J., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2019) - EXPLAINistry - Documentation, explanation and visualization of chemical experiments supported by ICT in schools. *Journal of Chemical Education*.
- [4] Seibert, J., Marquardt, M., Schmoll, I., & Huwer, J. (2019). Potenzial für "mehr Tiefe" - Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Computer + Unterricht*, 114, 32-34.
- [5] Huwer, J., Bock, A., & Seibert, J. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *American Journal of Educational Research*, 6(6), 763-772.
- [6] Ulrich, N., & Schanze, S. (2015). Das eChemBook - Einblicke in ein digitales Chemiebuch. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 26(145), 44-47.
- [7] Huwer, J., Seibert, J., & Brünken, J. (2018) Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 2018(03), 181-186.
- [8] Sweller, J. & Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*.
- [9] Ulrich, N., & Huwer, J. (2017). Digitale (Schul-)Bücher - VoBook zum Multitouch Learning Book. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 63-71). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [10] Huwer, J., & Brünken, R. (2018). Naturwissenschaften auf neuen Wegen - Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. *Computer + Unterricht*, 110(3), 7-10.
- [11] Huwer, J., & Eilks, I. (2017). Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (pp. 81-94). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [12] Mayer, R. E. (2005b). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-48). Cambridge: Cambridge UP.
- [13] Hasselborn, M. & Gold, A. (2017): *Pädagogische Psychologie: erfolgreiches Lernen und Lehren*, 4. Auflage, Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- [14] Trautmann, M. & Wischer, B. (2007). Individuelle Förderung im Unterricht. Was wissen wir über innere Differenzierung? *Pädagogik* 59(12), 44-48.
- [15] Groß, K.: *Individuelle Förderung im Chemieunterricht*. In: Reiners, C. (2017). *Chemie vermitteln - Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen*, 1. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [16] Perels, F. & Dörrenbächer, L. (2018). Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Lernen mit Bildungstechnologien*. Springer Reference Psychologie. Berlin: Springer.
- [17] Girwitz, R. & Hoyer, Chr. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz von digitalen Medien - Leitlinien zum Lernen mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [18] Weidenmann, B. (1997) "Multimedia": Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft* 25, S. 197-206.



© The Author(s) 2020. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

2.3.6.Förderung der Selbstregulation mit Hilfe von Multitouch Experiment

Instructions zum Thema Wasseranalyse

Vor dem Hintergrund der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) wurde das Versuchsangebot des NanoBioLabs der Universität des Saarlandes um den Versuch „Gewässeranalyse“ erweitert. Neben der qualitativen Analyse einer Wasserprobe führen Lernende Experimente rund um die Thematik durch, um ein besseres Verständnis des Ökosystems Wasser zu erlangen. Die fachlichen Inhalte werden neben der klassisch analogen Variante auch digital angeboten. Dazu wurde der Versuch in Form einer Multitouch Experiment Instruction (MEI) dargeboten. Neben dieser Funktion unterstützt die MEI in einem indirekten Förderungsansatz das selbstregulierte Lernen, wenn verschiedene Hierarchiestufen der Selbstregulation (Landmann & Schmitz, 2007) bei der Konstruktion der Materialien berücksichtigt wurden. Die Daten wurden mit einem Fragebogen erhoben, welcher insgesamt 14 Items in drei Phasen (prä-aktional, aktional und post-aktional) unterteilt. Es konnte ein signifikanter Erwerb selbstregulatorischer Kompetenzen von Lernenden der Klassenstufen 10 und 11 durch den Einsatz der MEI im Vergleich zur analogen Variante festgestellt werden. Dabei zeigten sich starke Effekte ($d = 1,09$ & $d = 0,92$) für beide Klassenstufen. Besonders in der Planungsphase ($d = 0,88$ & $d = 0,91$) sowie in dem zugehörigen Konstrukt der Zielsetzung ($d = 1,05$ & $d = 1,01$) konnten diese Beobachtungen gemacht werden. Darüber hinaus wurden Auswirkungen des neuen Versuchs auf den Wissenserwerb der Thematik untersucht. Sowohl in seiner digitalen, als auch in seiner analogen Variante konnten signifikante Unterschiede in beiden Klassenstufen festgestellt werden. Der stärkste Effekt ($d = 1,49$) wurde in Klassenstufe 11 mit dem Einsatz der MEI erzielt, welche auch im Vergleich zur analogen Variante signifikant besser abschnitt ($d = 0,82$).

Publikation K:

Promoting Self-Regulation with a Multitouch Experiment Instruction on the topic of water analysis

Johann Seibert¹, Felix Ollinger¹, Vanessa Lang¹, Franziska Perels², Christopher W. M. Kay¹ and Johannes Huwer³

Eingereicht am 23.05.2020

Angenommen am 27.09.2020

Publiziert am 30.12.2020

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

International Journal of Physics and Chemistry Education

Copyright © 2020, International Journal of Physics and Chemistry Education

DOI: 10.51724/ijpce.v12i4.127

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation mitbegleitet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Universität des Saarlandes, Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

³Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Promoting Self-Regulation with a Multitouch Experiment Instruction on the Topic of Water Analysis

Johann Seibert 
Saarland University, Germany
johann.seibert@uni-saarland.de

Felix Ollinger
Saarland University, Germany
felixollinger@gmx.de

Franziska Perels 
Saarland University, Germany
f.perels@mx.uni-saarland.de

Christopher W.M. Kay 
Saarland University, Germany
christopher.kay@uni-saarland.de

Johannes Huwer* 
Weingarten University of Education, Germany
huwer@ph-weingarten.de

Abstract

In context of Education for Sustainable Development (ESD), the range of experiments offered by the Schülerlabor NanoBioLab at Saarland University was expanded to include an experiment on the topic of water analysis, which provided the basis of the intervention. In addition to the analogue experiment instruction, there is a digital version which is presented as a Multitouch Experiment Instruction (MEI). MEIs are digitally enriched, interactive experiment instructions that accompany the cognitive learning process of pupils and promote competencies in the digital world (Seibert et al., 2020). In this study, we analysed whether the MEI could support self-regulated learning in an indirect support approach by considering different hierarchical levels of self-regulation in the design of the materials. The results show a significant acquisition of self-regulatory competencies of learners in grades ten and eleven by using the MEI compared to the analogue version.

Keywords

digital learning, ICT, interactive eBooks, self-regulation, Schülerlabor

• Received 23 May 2020 • Revised 27 September 2020 • Accepted 27 September 2020

Copyright © 2020 Authors. Terms and conditions of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) apply.

* Corresponding author

State of the literature

- Using digital media requires pupils' increased self-regulation behavior. They also offer a possibility of indirectly promoting self-regulated learning.
- In this context, the design of the digital medium is one of the most important aspects to be considered in order to support pupils in their use in the most effective way.
- Multitouch Experiment Instructions are interactive eBooks that can be enriched with multimedia content to enable individual learning of students not only in a school context but also in non-formal learning contexts.

Contribution of this paper to the literature

- Multitouch Experiment Instructions (MEIs) can have psychological effects on learning through a selective design. For example, the conscious structuring within such a digital learning tool can indirectly increase self-regulated learning when experimenting in chemistry lessons and in the Schülerlabor.
- The findings of this research study revealed that an interactive eBook is able to achieve exactly this psychological learning effect by using digital interfaces.
- On this basis, further influence factors of digital media on self-regulated learning can be investigated, to enable an indirect promotion of pupils' ability to experiment in a self-regulated way in science lessons.

Introduction

The European Council declared "self-regulated learning" as a key competence for lifelong learning and emphasized the importance of this competence in our rapidly changing society (EU Council 2018). It is important to already promote these competences at (pre-)school in order to prepare pupils for the transition from a more structured learning environment to a less structured one (Dörr & Perels, 2018; Dörrenbächer, 2016), whereby learners are to change from passive to active learners (Perels, 2009). The effects of self-regulated learning have already been investigated in many studies. For example, Dignath et al. (2008) found a correlation between interventions to promote self-regulation and an increase in learning performance in a meta-analysis. Over time, more and more intervention programmes based on the use of digital environments have been developed (Bellhäuser, 2016). These include Multitouch Experiment Instructions (MEI), which are preferably used in scientific experimentation and whose influence on self-regulated learning has not yet been investigated. A MEI based on the self-regulation model, according to Landmann and Schmitz (2007) was developed and evaluated in the NanoBioLab at Saarland University concerning its effects on self-regulated learning and cognition.

Multitouch Experiment Instructions to promote self-regulated learning

How to promote self-regulated learning

Self-regulated learning is a matter of the independent acquisition of knowledge, as well as the associated independent goal-setting and control, but also monitoring of learning processes to achieve different goals (Zimmerman, 2000; Perels and Dörrenbächer, 2018).

<https://doi.org/10.12973/ijpce/58112>

In the course of the development of various theories on self-regulation, the components "cognition", "motivation" and "metacognition" are of particular importance, and are found in nearly all models (e.g., Landmann et al. 2015). Models of self-regulated learning can be divided into two categories. While process-oriented models focus on different phases of self-regulated learning (e.g., Zimmerman, 2000), layered models focus on different levels of self-regulation (e.g., Boekarts, 1999). Another model of this category is the hierarchy model according to Landmann and Schmitz (2007), on the basis of which the MEI was developed. Here, a process-oriented model is integrated into a layer model, focussing on the different hierarchical levels of self-regulated learning. Learners first set themselves an overriding goal (example: solving ten equations). A metacognitive strategy can already be chosen before learners proceed to the next levels of self-regulation. Now, according to the process-oriented model (e.g. Schmitz & Wiese, 2006), the pre-action, action and post-action phases are passed through, which correspond to the planning, action and reflection phase according to Zimmermann. If necessary, the cycle is repeated at the lowest level. If this is not the case, learners proceed to the next higher hierarchy level. In this way, the cyclical phase model becomes the object of regulation, and the selection of cognitive and metacognitive strategies is reflected and readjusted. At the next higher level, the object of reflection is extended over a longer period or several aspects (Zimmermann, 2000). The goal of this procedure is pattern recognition. If all these hierarchy levels do not lead to the set goal, adjustments can be made at the outermost level. The goal adaptation, as well as the whole cycle, can refer to short-term goals, such as solving several tasks, as well as to longer-term goals, such as improving a pupil's grade in mathematics by one level.

Given the relevance and theoretical models of self-regulated learning, the question arises how this competence can be promoted, especially since there is evidence that academic performance can be improved by promoting self-regulated learning. In addition to this context, self-regulatory competence is also a significant predictor of performance at school and university (Otto, 2011).

The promotion of self-regulated learning can take place holistically, or only individual aspects of self-regulation can be promoted, such as adequate goal setting. In contrast to direct support measures, indirect approaches do not focus on the learners but rather aim at training instructors (e.g. teachers or parents) so that they can promote self-regulation of the learners. Otto (2007) suggests three approaches to how this indirect support can take place:

- a) Instructors design the learning environment in such a way that self-regulated learning is encouraged. Furthermore, Reinmann and Mandl (2001) propose various guidelines for designing constructivist learning environments:
 - Learning based on authentic problems
 - Learning in multiple contexts
 - Learning from different perspectives
 - Learning in a social context
 - Learning with instructional support

- b) Another approach is directly related to Bandura's theories, according to which parents or teachers provide role models for children or learners. By observing positive behaviour of a role model concerning self-regulatory competencies, learners can acquire these competences themselves. Thus, teachers should use the same strategies for self-regulation that they intend to encourage in their pupils (Landmann, 2009).

Multitouch Experiment Instructions to promote self-regulated learning in chemistry education

In order to promote self-regulated learning, Multitouch Experiment Instructions (MEI) can assist students' experimentation as a digital learning tool (Seibert, Kay and Huwer, 2019). MEIs are interactive, multimedia-enriched experimental instructions, which can be either implemented as an eBook or as Augmented Reality (AR), which enriches an analogue experiment instruction (Seibert et al., 2020a). MEIs can be referred to as technology-based learning environments (TELE), a term which is more specific and better suited to describe an educational setting than ICT, which refers to Information and Communication Technology in general. Dettori et al. (2011) describe two types of TELE with regard to fostering self-regulation and contrast them with unenhanced learning environments. They differentiate between didactic TELE, a learning environment which aims at improving students' self-regulation by specifically training self-regulation strategies, and facilitative TELE. While the latter is also targeted at improving students' self-regulation, facilitative TELEs do not contain self-regulation training or content on the topic of self-regulation (Dettori et al., 2011, p. 5). For the facilitative TELE, it is rather the nature and design of the learning environment which contributes to the promotion of self-regulation strategies. Considering the features and design of the MEI, it can be classified as a facilitative TELE:

A MEI covers all phases of the experiment from preparation to reflection through exercises and individual support. Individual support for the pupils can be integrated as experimental, equipment, language, or comprehension support, which are implemented as videos, text, or sound (Huwer, Bock and Seibert, 2018). Exercises can be created and integrated using widgets from various providers, such as bookry® or learningapps®, which are interfaces that allow pupils to complete interactive multimedia activities including instant feedback. These widgets enable learners to check the solutions of the task independently. Furthermore, MEIs offer the possibility to follow an individual learning path by allowing learners to decide which content to work on and which not. This individual support is also reflected in the student-centred design of the eBook. In addition to the previously mentioned widgets, which provide assistance when experimenting, further digital features are implemented in the eBook. These are intended to help the students especially in cognitive learning processes. This includes additional tasks that are intended to promote the students' understanding of the content regarding the experiment. In addition, the digital experiment instructions are designed in such a way that the students can find their own solutions through targeted navigation and thus work autonomously (Huwer & Eilks,

2017). The widgets are intended to provide an interface between guided and structured inquiry learning depending on the student's experimenting skills. Once exported as an eBook, MEIs can be retrieved on a tablet or other device at any time without further preparation (Seibert et al., 2020b). MEIs such as the one implemented in this study offer support tools which promote students' learning process, reflection, strategy use and planning phase. This type of MEI can be described as facilitative TELE, as it not only includes various support tools but also requires students to decide for themselves whether to take advantage of these support tools and to actively seek them out.

It is evident that the focus of this study an indirect approach to promote self-regulation. This indirect approach of self-regulation corresponds to the models presented in the theory section and will be elaborated in the following chapter. Due to this focus, digital design features that are able to indirectly promote self-regulated learning will be especially considered in this study and further described in the following. Special attention is paid to the conception of the layout but also to the content and media pedagogical design of the different widget types in order to enable optimal multimedia environment while working with a MEI and to keep the extraneous cognitive load as low as possible (Mayer, 2009). Further general design principles of digital media are taken into account in order to promote self-regulated learning indirectly by taking the cognitive load theory of multimedia learning into account (Mayer, 2009):

- **Interactivity and segmenting principle:** Through the integration of buttons, the MEI becomes an interactive experiment instruction. Tasks and support can be accessed and closed as desired. Some tasks and exercises provide direct feedback, which is preferred by learners according to Miller (2009).
- **Coherence principle:** The instruction material does not contain any irrelevant information per se. As advanced learners may not require support, support tools are not displayed automatically. This reduces the extraneous load, which frees up more cognitive capacity in the working memory for the germane load, since only information that is important in a specific situation is displayed.
- **Temporal Contiguity Principle:** In order to avoid split-attention effects, elements that belong together are arranged next to each other. In MEIs this applies among other things to the arrangement of tasks and exercises in one box and help and hints in a second box. Also, the text was integrated in embedded pictures and videos at the appropriate places. For example, the technical term for an item of laboratory equipment is always displayed directly below a photo of this item.
- **Modality principle:** Visual and acoustic signals are integrated into the working memory to form a mental construct, which increases learning success. Due to the already increased noise level which results when more than twenty pupils' experiment in a laboratory when using the MEI, it was decided not to integrate audio content into the MEI.

- **Multimedia principle:** In addition to text paragraphs, the instructional material contains pictures, graphics, videos and animations. Almost every task of a station contains a video showing the execution of the respective experiment. The principle of supplantation (Salomon, 1979) enables the pupils to learn new processes (e.g. detection reaction for nitrate and phosphate) or to extend processes they already learned. In addition, animations are included which enable the visualisation of the individual experiments at particle level.

- **Image principle:** As the MEI contains relatively little text, we have refrained from highlighting individual components. Only "tasks and exercises" and "help and hints" were underlined.

- **Redundancy principle:** The degree to which MEIs enable learners to choose their learning objectives freely is difficult to assess. In principle, pupils can determine aspects such as the number of the stations to be worked on and their sequence themselves. Even within the stations, there is a heading for each task, which is initially formulated without a research question. Theoretically, it would be possible to set goals for each task, which can be achieved with individual solutions. In contrast, the tasks and exercises provide a clear structure and direct instructions. The learners can either follow this given structure, or formulate their own goals and solutions, without being guided by support tools or a detailed instruction.

- **Segmenting principle:** The tasks and exercises, as well as the help and hints, divide the learning objective of a task into learning-compatible sections. Even with integrated videos, pupils can pause and continue watching the video according to their needs. A division of the videos into several sections for better overview was partly realised by providing individual sequences with text sections.

- **Personalization principle:** Learners can control their learning process themselves by using the MEI. With the help of information and exercises, pupils can use the material when and how often they want, under the principle of freedom of objectives.

A Multitouch Experiment Instruction for the context of water analysis

Based on the theory presented, we created a MEI for processing the experiment "water analysis" for the Schülerlabor NanoBioLab of the Saarland University. This MEI was tested in different grades with regard to the MEI's potential to promote self-regulation and its effect on cognition.

Promotion approach

The water analysis experiments to be carried out by the pupils aim to determine the chemical index of a water sample and are divided into five different experiments. Due to the broad scope of the subject matter, a direct promotion approach, in which knowledge of self-regulated learning and the associated cognitive and metacognitive strategies are imparted in addition to the specialist

knowledge, did not seem to make sense in terms of time. Therefore, an indirect approach for promoting self-regulation was chosen. As mentioned in the previous section on the theory of self-regulated learning, two aspects were mentioned as to how educators can promote self-regulated learning among pupils using the indirect support approach. Educators can take on the function of a role model or directly impart strategies for self-regulation. However, these two approaches were not realized in the intervention. A positive model behaviour can be observed by the learners only during the preliminary discussion, during supervision of the experiments, and in the embedded experiment videos in the MEI. However, the focus is on the design of a beneficial learning environment. The analogue version of the experiment instruction also implements the first three guidelines for the design of learning environments ("learning based on authentic problems", "learning in multiple contexts" & "learning under different perspectives"). The use of the MEI and especially the integrated evaluation file, supports another aspect ("learning in a social context"), as the class works on a uniform document with a common goal - the determination of the chemical index of a water sample. The last guideline ("learning with instructional support") is also implemented by using the MEI.

Design of the Multitouch Experiment Instruction

To ensure that the MEI is immediately recognized in the eBook app, a cover was first designed that contains the title of the experiment and a label identifying it as a MEI. By tapping on the cover, which is displayed on the bookshelf, the eBook opens, and provides an overview of the stations (see Figure 1).



Figure 1. Book cover and navigation page

Buttons are integrated in the MEI which serve to navigate between the chapters and access widgets. The first page of a chapter opens when pupils tap on the corresponding button such as the station on the pH value of the water sample. The name of the respective task is shown in an elongated bar below the round station symbol. Various tasks and exercises can be accessed via buttons on the left-hand side, while help and support are available on the right-hand side (see Figure 2).

A unique feature of the MEI is the "Share button" (see Figure 3, bottom left). By tapping on this button, the pupils access an evaluation file, which can be edited online by all pupils simultaneously. In addition to the individual results of each group, the table calculates averages for all groups. This way, each group receives a result, which contributes to the overall result of the class and can be compared with this and other group results. Although the hierarchy model according to Landmann and Schmitz (2007) integrates a process-oriented model into a layered model, both types of the model should be considered separately.

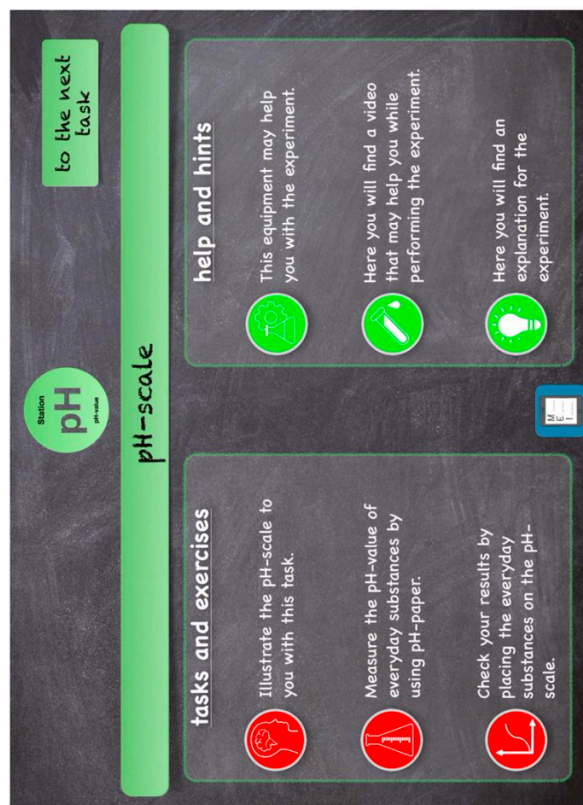


Figure 2. First page of the experiment "pHscale"

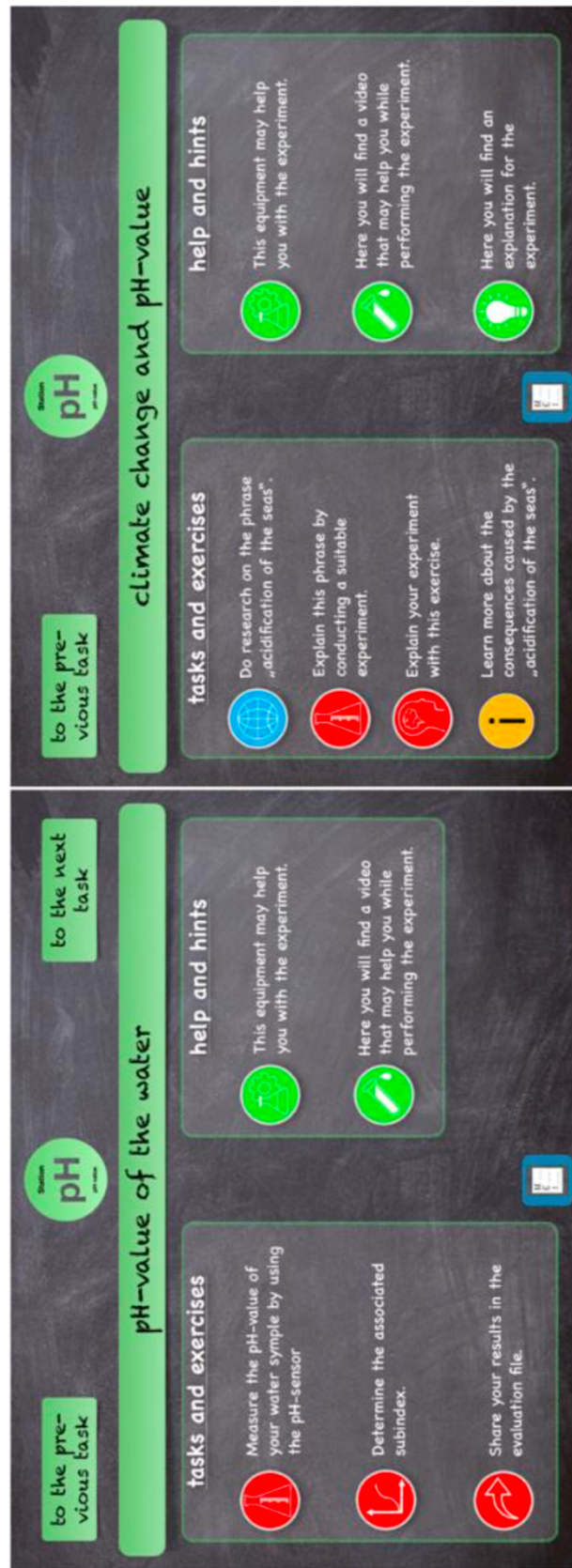


Figure 3. Second and third page of the experiment "pH scale"

Phase model in a MEI

Each task within the MEI has a heading, which is phrased without a specific question or instruction. On the basis of this heading, learners can set their own goals which are achieved through individual learning paths. The tasks and exercises support the three phases of self-regulated learning according to Zimmermann (2000).

How the pupils' self-regulation is supported can be illustrated by one of the tasks for determining the pH value

The subdivided tasks and exercises include three detailed instructions to support the three phases. The first task aims at activating the pupils' prior knowledge and thereby support the planning phase by repeating the pH scale. For this purpose, a widget from the template "Matching pairs on images" from learning apps was used which is accessed by tapping the first button. The task "Tap a pin and match it with the appropriate term" is displayed and can be hidden by tapping "Ok". If a pin is tapped, the terms "acidic", "alkaline" and "neutral" appear in a random order,

from which the suitable term must be selected. Once all terms have been placed in the correct position, pupils are provided with feedback by pressing the blue button in the lower right-hand corner. If the pupils matched all terms correctly, the message "Great, you found the right solution" appears (see Figure 4).

The activation of the pupils' prior knowledge and the positive emotions resulting from the positive, direct feedback can be beneficial for the upcoming action phase. The action phase is initiated by the second instruction "Measure the pH value of various everyday substances using pH paper". By tapping on the corresponding button, a pop-up window opens, which directs pupils to the help and hints in case they encounter problems while completing this task. This serves to make learners aware that they can access help at any time, thus maintaining positive emotions and their motivation. Furthermore, the specific task supports the maintenance of the learning process or experimentation, as it is always visible, unlike pop-up windows. After the action phase, pupils should evaluate their results in the reflection phase.

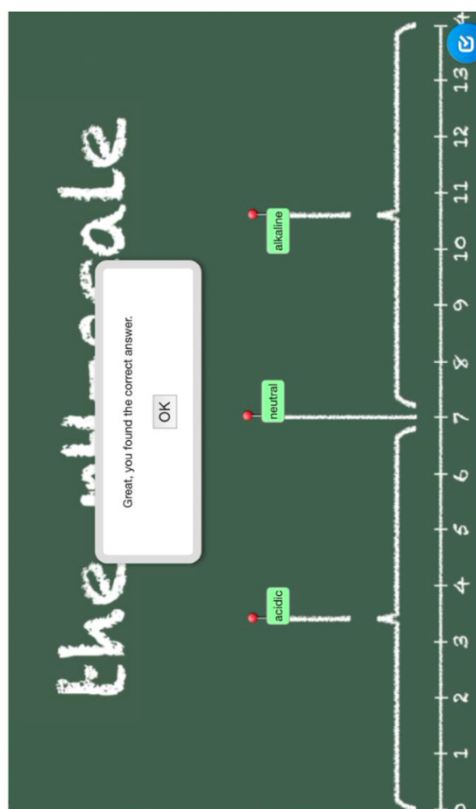


Figure 4. Interactive widget to visualize the pH scale

For this purpose, the pupils can open a widget which was created with the template "Number line" in learning apps by tapping on the last button (see Figure 5). In this widget, the measured pH values of everyday substances are supposed to be arranged on a pH scale on which certain positions have already been marked to which the pH of the substances should be matched. If the allocation is correct, the positive feedback appears by tapping on the blue button. The pupils can check their results from the action phase themselves. Incorrectly assigned substances are marked in red and can be re-examined for their pH value in a new cycle. In order to understand how the MEI further supports self-regulated learning in such a case, it is necessary to switch to a layer model.

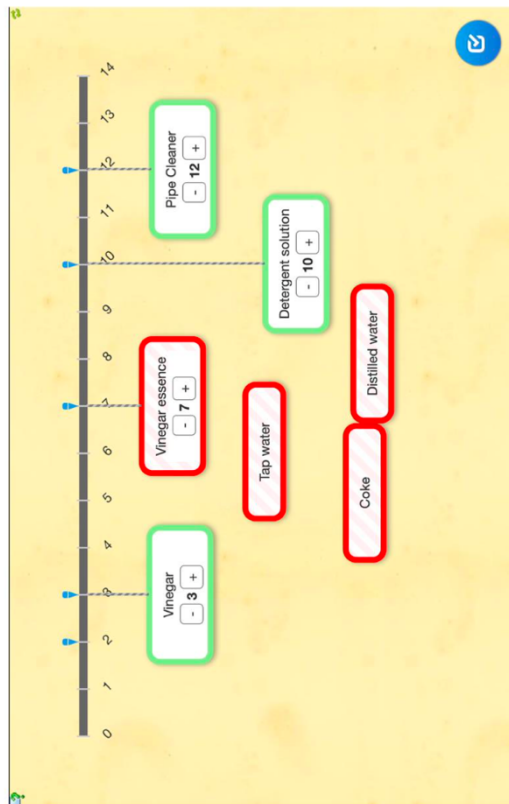


Figure 5. Widget for assigning substances to their the pH value
Layer model in a MEI

As the hierarchy model according to Landmann and Schmitz (2007) was chosen as a framework for our intervention, the implemented content is arranged in accordance with the hierarchy levels. A short overview of the four phases is provided in Figure 6, which assigns the different sections to the corresponding self-regulation phase (blue, cyan, pink, and green).

a) 0th order: execution regulation

At this level, the phases of executing the experiment are planned in greater detail. The impact of the MEI on the aspects of such a process-oriented model have been elaborated in the previous chapter. In case learners achieve their goal (see Figure 6), they proceed to the next higher level.

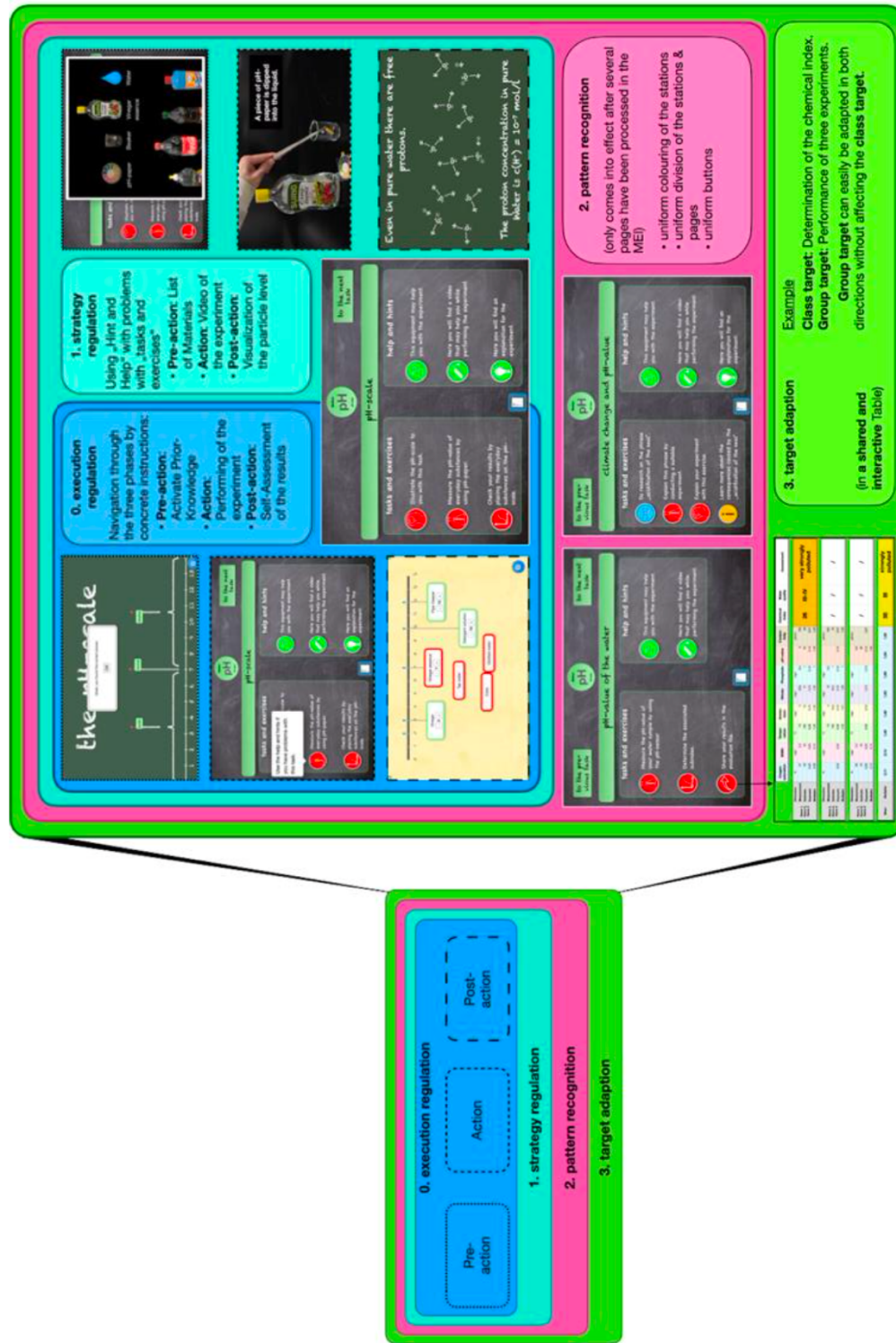


Figure 6. Hierarchy model of a MEI (adapted to Landmann and Schmitz (2007))

b) 1st order: strategy regulation

The whole level below now becomes the object of regulation. Especially individual support is essential at this point, as it promotes the three phases associated with self-regulation when going through the cycle of the lowest level again. By tapping on the "equipment button" (see [Figure 2](#): top green button under "help and hints" popping up like seen in [Figure 7](#)), pupils access a list of images of all the required equipment, chemicals and materials, including their technical terms.

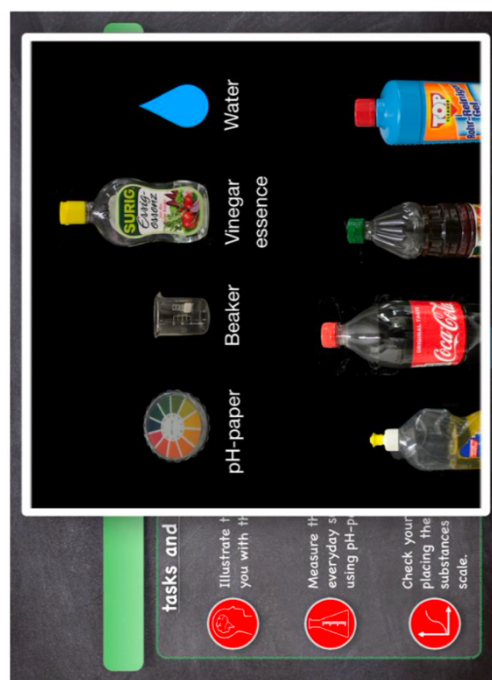


Figure 7. List of materials and chemicals pupils can use for their experiment

This list can be particularly helpful in the planning phase, as pupils may find it easier to plan their experiments when they already know which equipment, chemicals and materials they need and are entirely able to focus on the process of planning their procedure. If the pupils are not yet able to plan and successfully carry out the experiment after viewing the list, additional assistance is provided – pupils can access a video showing a part of the execution of the experiment (see [Figure 8](#)).

This video supports the planning phase as well as the action phase. During the experiment, students can watch sections of the video and apply what is seen to their own experiment. After the first two phases have been successfully executed, the last button supports the post-action or reflection phase by showing an animation which displays the observations made during the experiment on the particle level (see [Figure 9](#)). Learners recognize whether or not they



Figure 8. Supporting video for the experiment "pH scale"

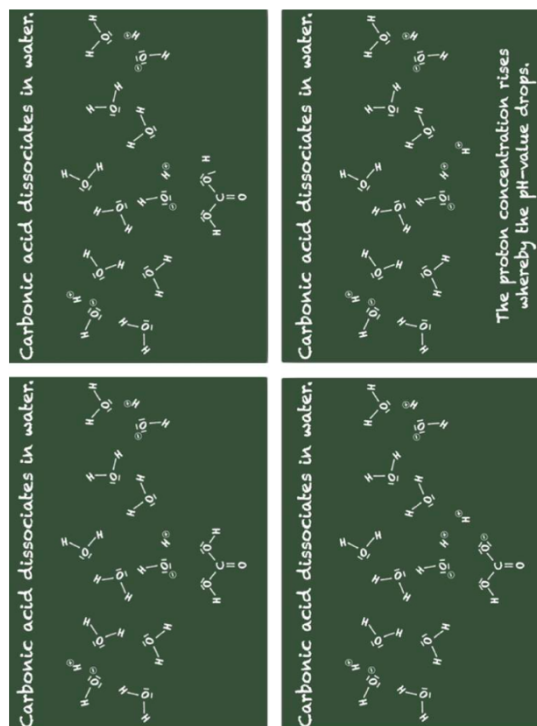


Figure 9. Supportive animation for the task "pH scale"

In addition to these three types of individual support such as pictures of equipment and chemicals, an experimental video, and an animation of the particle level, classical "support cards" have also been included (see Figure 10).

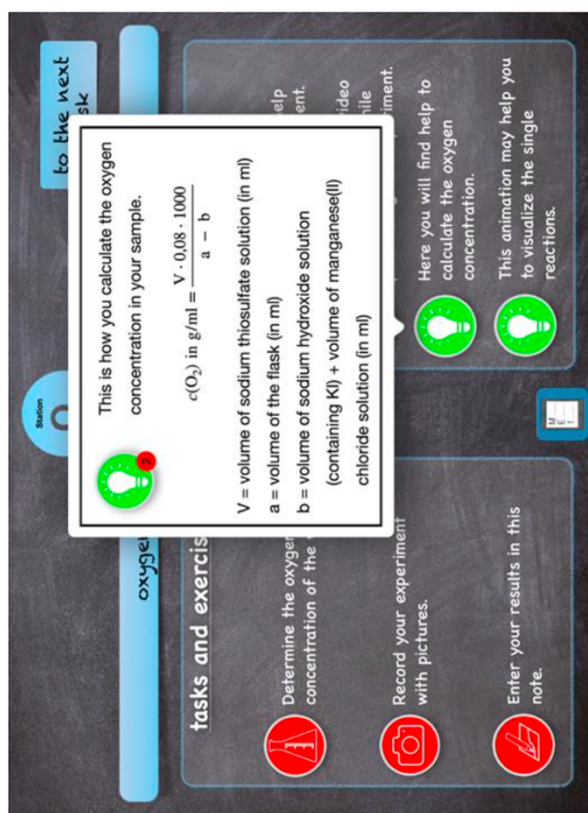


Figure 10. Written hint as pop-up for evaluating the task

c) 2nd order: pattern recognition

This hierarchy level only comes into effect after learners have completed at least one or two tasks of a station and recognise that the structure of the MEI follows a specific pattern. The tasks of each station are structured in the same way, divided into tasks and exercises as well as individual support and the symbols are also used consistently. (see Figure 11).

The consistent structure and use of the symbols eases the navigation of the MEI and allows pupils to select the content they need more precisely. To additionally support orientation, each station follows its colour scheme.

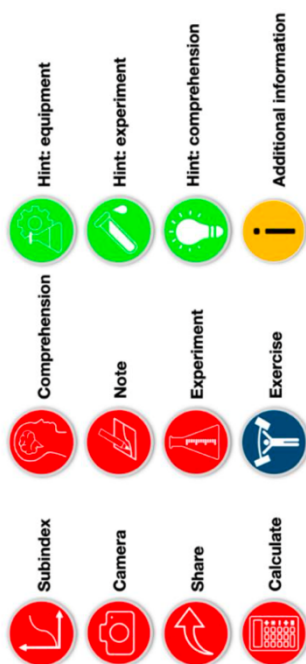


Figure 11. Overview over the buttons that are used in the MEI

d) 3rd order: target adaptation

Finally, the adaptation of overarching objectives can be facilitated by the use of a MEI. For this purpose, class goals and group goals must be distinguished from each other. The goal of the whole class could be to determine the chemical index of a water body. To achieve this collective goal, each group could decide to set a group goal of completing three experiments. If a group notices that it does not have enough time to complete three stations, it could for example reduce its goal to two stations, without jeopardising the class goal. This is made possible by the evaluation file, which calculates average values for all groups. So even if each group adapted its goal from three to two or even only one station, the collective goal would still be achieved. This allows the positive emotions and the motivation of learners to be maintained despite the failure to achieve the group goal.

Test design, sample and procedure

A total of two classes took part in the evaluation. Since the experiment water analysis is applicable starting in the tenth grade, pupils of one tenth and one eleventh grade of grammar school participated. Forty-two pupils took part in the evaluation, 20 of them being in the 11th grade (average age 16.29 years) and 22 in the 10th grade (average age 17.55 years), two of whom refused to answer the questionnaires.

While the intervention took place on the same day, the tenth grade experimented in the morning and the eleventh grade in the afternoon. The pupils completed a pre- and post-test, which included a questionnaire on self-regulation and cognition each. The pre-test was completed before the preliminary discussion of the experiment to ensure the objectivity of the pre-tests. The self-regulation questionnaire was completed first in order to avoid negative emotions that might arise from filling out the cognition questionnaire. After completion of both questionnaires, each class was divided into a control group and a test group. The control group carried out the water analysis with an analogue version of the experiment instruction, while the pupils in the test group

were equipped with iPads and used the MEI. To avoid any influence on the current motivation and emotion of the pupils and therefore ensure internal validity, the two groups were instructed separately and worked on the stations spatially separated in the laboratory.

The questionnaire on self-regulation

The questionnaire is comprised of items from different questionnaires that have been adapted for the use of MEIs. Selected items for the evaluation of self-regulated learning according to Dörrenbächer and Perels (2016) serve as a basis for the questionnaire. All these selected items show a Cronbach's α between .65 and .91. Selected items were supplemented by single items from Deci and Ryan (2003a, 2003b). For the items of Deci and Ryan, but also Dörrenbächer and Perels, there has been a slightly modification to fit the experimental activities. For example, an item such as "Before I start this activity, I know exactly which goals I want to achieve" can be changed to "Before I start experimenting, I know exactly which goals I want to achieve". Especially for the items of Deci and Ryan, the authors explain that the test they present "consists of varied numbers of items from these subscales, all of which have been shown to be factor analytically coherent and stable across a variety of tasks, conditions, and settings." (Deci & Ryan, 2003a). After a reliability analysis (see Table 1), useless items were removed and a Cronbach's alpha of .5 was used. In a pilot study, correspondingly, poor items were removed and evaluated in the same questionnaire scale. The fourteen items in total cover the three phases of self-regulated learning according to Zimmerman (2000) and are to be evaluated on a scale from 1 (disagree) to 6 (fully agree) to avoid a neutral position. To ensure content validity, the questionnaire covers each of the three phases of self-regulation, therefore aiming to represent the entire construct of self-regulation. The items were tested for clarity and comprehensibility and reviewed by Perels and Dörrenbächer (2016). As the questionnaire consists of items taken from established questionnaires on the construct of self-regulation with tested validity (Dörrenbächer & Perels, 2016; Deci & Ryan, 2003a), construct validity can be assumed. Concerning the questionnaire's reliability, all values are within the acceptable range of $\alpha > .5$, whereby the low values in the post-action phase are to be viewed critically. For these first investigations, these values should nevertheless be sufficient. The following list contains examples of questionnaire items for the three phases of self-regulation:

Pre-action phase:

- Before I start the experiment, I think about the materials and chemicals I need to perform the experiment
- Before I start experimenting, I know exactly which goals I want to achieve

Action phase:

- When I conduct experiments, I think about whether my approach makes sense

Post-action phase:

- After experimenting, I check whether I have reached my goals
- After experimenting I reflect on what I can improve next time

Table 1. Reliability analysis of the self-regulation questionnaire and the three subscales

Subscale	Cronbach's	
	Pre-Test	Post-Test
Self-regulation (total)	.860	.854
Pre-action phase	.763	.839
Action phase	.809	.601
Post-action phase	.665	.579

Evaluation

For evaluation, the mean values of the pupils' test results are calculated, both for the entire test as well as for the three phases of self-regulation. The mean values of pre- and post-test are compared with a dependent t-test for paired samples with a 95% confidence interval ($\alpha = .05$). After testing for variance homogeneity, a t-test is performed for independent samples of the mean differences between the variables. If variance homogeneity cannot be assumed, a Welch test is performed (t-test with Welch correction). In both cases, the t and p values, the number of degrees of freedom and the effect size d are given. The cognition questionnaire starts with a general task and then addresses the individual stations in five tasks. The six tasks are each divided into knowledge and understanding, according to the learning goal taxonomies of Bloom (1972). The evaluation of the cognition questionnaire is similar to that of the self-regulation questionnaire, with the difference that instead of the mean values, the total score for the twelve questions is calculated.

Findings

Self-Regulation

Effect of the analogue experiment instruction on self-regulation

To investigate the question whether the analogue experiment instruction promotes pupils' self-regulation, only the two test groups that performed the experiments without the MEI are considered. For this purpose, the mean values of the pre- and post-tests of the two analogue groups are compared regarding their score in the self-regulation questionnaire. In grade ten, a lower mean value is found in the post-test, while in grade eleven it is above the mean value of the pre-test. However, both results are not significant ($p = .132$ & $p = .145$). Therefore, the analogue experiment instruction seems to have no positive influence on the pupils' self-regulation.

Effect of the digital experiment instruction on self-regulation

Two test groups carried out the water analysis using the developed MEI. Whether this version leads to an increase in self-regulatory is assessed by paired t-tests for the two digital groups with regard to the overall self-regulation score. Both groups showed a significant increase in self-

regulation with a large effect size ($p = .010$ & $p = .002$, $d = 0.84$ & $d = 1.24$), which indicates that experimenting with the MEI has a positive effect on pupils' self-regulation (see Table 2).

Table 2. Results on the relation between self-regulation and Multitouch Experiment Instructions, * $p < .05$, ** $p < .01$, df = degrees of freedom. d = Cohens d .

Grade	Pupils	Type	Pre-Test			Post-Test			t-Test		
			M	SD		M	SD		T	df	p
10	Analogue	Pre-action phase	3.19	1.03	3.15	0.94	0.17	8.00	.436	0.06	
		Action Phase	3.22	1.37	3.17	1.22	0.18	8.00	.433	0.06	
		Post-action Phase	3.78	1.24	3.54	1.18	1.40	8.00	.099	0.47	
		Self-Regulation (Total)	3.44	1.12	3.32	0.91	1.20	8.00	.132	0.40	
10	Digital	Pre-action phase	3.45	0.76	4.08	0.63	-2.88	10.00	.008*	0.87	
		Action Phase	3.41	1.18	3.18	0.51	0.59	10.00	.284	0.18	
		Post-action Phase	3.77	0.80	4.27	0.69	-2.87	10.00	.008*	0.87	
		Self-Regulation (Total)	3.58	0.70	4.03	0.53	-2.79	10.00	.010*	0.84	
11	Analogue	Pre-action phase	4.65	0.56	4.92	0.87	-0.82	9.00	.218	0.26	
		Action Phase	4.35	1.31	4.15	1.08	0.53	9.00	.303	0.17	
		Post-action Phase	4.18	0.66	4.42	0.67	-1.58	9.00	.074	0.50	
		Self-Regulation (Total)	4.41	0.47	4.59	0.69	-1.13	9.00	.145	0.36	
11	Digital	Pre-action phase	4.02	0.87	5.27	0.65	-4.26	9.00	.001**	1.35	
		Action Phase	4.55	1.32	5.05	0.64	-1.34	9.00	.107	0.42	
		Post-action Phase	4.22	0.64	4.58	0.57	-2.18	9.00	.029*	0.69	
		Self-Regulation (Total)	4.18	0.73	4.94	0.41	-3.90	9.00	.002**	1.24	

Differences between digital and analogue experiment instruction

The final question is whether the use of the MEI promotes the acquisition of self-regulatory competences to a larger degree than the analogue version. An unpaired t-test reveals that the digital version is superior as the test group which experimented with the MEI achieved a significantly higher self-regulation score compared to the analogue test group ($p = .006$ & $p = .018$, $d = 1.09$ & $d = 0.92$). Accordingly, the use of the MEI promotes the pupils' self-regulation to a larger extent than the analogue version (see Table 3).

Table 3. Results on the differences between self-regulation in using a Multitouch Experiment Instructions and an analogue instruction, * $p < .05$, ** $p < .01$, df = degrees of freedom. d = Cohens d .

Grade	Pupils	Type	Difference analogue			Difference digital			t-Test		
			M	SD		M	SD		T	df	p
10	20	Pre-action phase	-0.04	0.66	0.62	0.72	-2.12	18.00	.024**	0.88	
		Action Phase	-0.06	0.95	-0.23	1.27	0.34	18.00	.371	0.15	
		Post-action Phase	-0.24	0.51	0.50	0.58	-2.99	18.00	.004**	1.13	
		Self-Regulation (Total)	-0.13	0.32	0.45	0.53	-2.84	18.00	.006**	1.09	
11	20	Pre-action phase	0.27	1.03	1.25	0.93	-2.24	18.00	.019**	0.91	
		Action Phase	-0.20	1.18	0.50	1.18	-1.33	18.00	.101	0.58	
		Post-action Phase	0.23	0.47	0.37	0.53	-0.60	18.00	.279	0.27	
		Self-Regulation (Total)	0.19	0.52	0.76	0.62	-2.26	18.00	.018**	0.92	

Knowledge acquisition

Impact of the analogue experiment instruction on knowledge acquisition

The two control groups that performed the experiment without the MEI are considered first. The question arises as to whether the analogue experiment instruction of water analysis leads to an acquisition of knowledge on the corresponding topic. A paired t-test revealed a significant knowledge acquisition both in grade ten and eleven with strong and medium effect size respectively ($p = .008$ & $p = .018$, $d = 1.02$ & $d = 0.78$). Thus, the analogue version of the experiment instruction has a positive effect on pupils' knowledge acquisition (see Table 4).

Table 4. Results on the relation between cognition and Multitouch Experiment Instructions, * $p < .05$, ** $p < .01$, df = degrees of freedom. d = Cohens d .

Grade	Group	Pupils	Type	Pre-Test			Post-Test			t-Test		
				M	SD		M	SD		T	df	p
10	Analogue	9	Knowledge	1.67	1.12	2.56	0.88	-2.53	8	.018*	8	0.84
			Comprehension	2.17	0.93	2.67	0.61	-1.90	8	.047*	8	0.63
			Total	3.83	1.87	5.22	1.3	-3.05	8	.008**	10	1.02
10	Digital	11	Knowledge	1	1	1.73	0.79	-1.70	10	.060	10	0.51
			Comprehension	1.91	0.54	2.55	0.79	-2.51	10	.016*	10	0.76
			Total	2.91	0.94	4.27	0.82	-3.82	10	.002**	10	1.15
11	Analogue	10	Knowledge	1.6	1.35	2.5	1.58	-1.87	9	.048*	9	0.59
			Comprehension	2.65	1.53	3.35	0.46	-1.65	9	.067	9	0.52
			Total	4.25	2.12	5.85	1.49	-2.48	9	.018*	9	0.78
11	Digital	10	Knowledge	1.7	0.82	3.3	1.34	-4.71	9	.001**	9	1.49
			Comprehension	2.15	1.01	3.55	0.37	-3.38	9	.004**	9	1.07
			Total	3.85	1.11	6.85	1.29	-10.06	9	.000**	9	1.49

Impact of the digital experiment instruction on knowledge acquisition

Whether the digital version leads to knowledge acquisition can be answered by a paired t-test for the two test groups which carried out the water analysis using the MEI. In both groups a significant knowledge acquisition with high effect strength was observed ($p = .002$ & $p = .000$, $d = 1.15$ & $d = 1.49$), which demonstrates the positive impact of using the MEI on the pupils' knowledge acquisition.

Differences between digital and analogue version of the experiment instruction

Finally, the question arises whether the use of the MEI has a stronger impact on pupils' knowledge acquisition than the analogue version. A paired t-test revealed lower mean value difference in the digital group for grade ten. However, as this difference is not significant ($p = .483$), the digital version has no greater effect on knowledge acquisition than the analogue version of the experiment instruction. In comparison to the control group, a higher mean value difference in the digital group can be observed for grade eleven. The difference is significant with a large effect size ($p = .036$ & $d = .82$) (see Table 5). Therefore, the use of the MEI in grade eleven promotes knowledge acquisition to a larger degree than the analogue version.

Table 5. Results on the differences between cognition in using a Multitouch Experiment Instructions and an analogue instruction, * $p < .05$, ** $p < .01$, df = degrees of freedom. d = Cohens d .

Grade	Pupils	Type	Difference analogue			Difference digital			t-Test		
			M	SD		M	SD		T	df	p
10	20	Knowledge	0.89	1.05	0.73	1.42	0.28	18.00	.390	18.00	0.13
		Comprehension	0.50	0.79	0.64	0.84	-0.37	18.00	.358	18.00	0.17
		Total	1.39	1.36	1.36	1.19	0.04	18.00	.483	18.00	0.02
11	20	Knowledge	0.90	1.52	1.60	1.07	-1.19	18.00	.126	18.00	0.53
		Comprehension	0.70	1.34	1.40	1.31	-1.18	18.00	.127	18.00	0.52
		Total	1.60	2.04	3.00	0.94	-1.97	12.67	.036*	12.67	0.82

Discussion

Our data showed positive results for the use of a Multitouch Experiment Instruction regarding cognition and self-regulation compared to an analogue experiment instruction for both age groups (grade ten and eleven). These results were found for self-regulation overall as well as for the planning phase as a subscale of self-regulation. This suggests that MEIs are able to promote self-regulated learning through their intentional structure and content. Bernacki et al. (2011) conclude that TELEs must meet two conditions in order to promote self-regulated learning effectively: a domain-specific objective and a responsive adaption to students' needs. Both conditions apply to this MEI, which accounts for its general ability to promote students' self-regulation. However, no significant difference was found for the action phase, while only one group (grade 10) showed a significant increase for the reflection phase in comparison to the analogue group. According to the three phases of self-regulation described by Zimmerman (2000), there was one type of media for each phase which was targeted to support students in this phase. The material lists, which were tailored to assist students in planning their experiments, seem to have been effective, as a significant increase in self-regulation in planning phase was found for the digital version. In contrast, the videos on the execution of the experiment and its interpretation on particle level did not achieve the expected outcome, that is, to improve students' self-regulation in the action and reflection phase. Students might have consulted the videos for planning their experiments or might have been overwhelmed and therefore reluctant to consult the videos as they contained even more information to process.

As Bernacki et al. (2011) highlight, the relationship between didactic and facilitative TELEs and self-regulation needs to be further investigated. Only few studies feature facilitative TELEs which aim to promote self-regulated learning without explicitly training self-regulation strategies or including information on self-regulation. Even fewer focus on the effect of such environments on students' self-regulation while many investigate the effect on students' learning outcome. However, the findings of this study can be compared to an intervention which compared a

didactic TELE with self-regulation training to a facilitative TELE, both implemented as an interactive eBook (Seibert et al., 2020c). Interestingly, the enriched version of the MEI, which included self-regulation trainings, showed no benefits compared to the MEI which only featured the content-related support tools. This emphasises the MEI's ability to promote self-regulated learning due to its structure and content without explicitly addressing self-regulation strategies or other aspects.

However, it should be noted that both test conditions can not be considered as fully equivalent due to the complexity of the multimedia content present in the MEI. Integrating this content into an analogue experiment instruction is only possible to a certain degree, especially when it comes to the support tools such as interactive widgets with instant feedback. Also, the self-regulation strategies students might have applied due to the interaction with the MEI require a certain amount of training and automation in order to be fully effective, which students could only benefit from during a longer intervention period. Some studies on TELEs have investigated the effect of support by human tutors on self-regulation and cognition. Azevedo (2008) describes how prompts provided by tutors resulted in a more effective interaction with the learning environment and higher degree of self-regulation on regard of the students. This finding indicates an important limitation of our study because the support provided by the tutors might have influenced the learning outcome of the students as well as their use of self-regulation strategies.

The findings have provided a valuable insight into the indirect promotion of self-regulation through technology-enhanced learning environments for the context of science education. This is especially the case as the effect of facilitative TELEs on self-regulated learning is a topic only few studies address, which is why intentional future research on the topic is required to improve our understanding of the relationship between TELEs, SRL and learning outcomes.

One issue which can be derived from our investigations is how specific phases of self-regulation can be promoted more effectively by the medium or prompting. This raises the question which types of media might be ideally suited to promote certain aspects of self-regulation. Also, the questionnaire could be modified to collect data on which media and tools students actually interact with and whether the degree of help-seeking is related to their self-regulation strategies and motivation. Due to a tendency towards gender bias in the natural sciences, gender effects should be investigated in future studies.

Acknowledgements

This project is part of the "Qualitätsorientierte Lehrerbildung", a joint initiative of the Federal Government and the Länder which aims to improve the quality of teacher training (SaLUt II - 01JA1906A). The programme is funded by the Federal Ministry of Education and Research. The authors are responsible for the content of this publication.

Declaration of Conflict of Interests

The authors have no competing interests to declare.

References

- Ballhäuser H., Lösch T., Winter C. and Schmitz, B., (2016), Applying a web-based training to foster self-regulated learning – Effects of an intervention for large numbers of participants. *Internet and Higher Education*, 32, 87-100.
- Bernacki, M.L., Aguilar, A.C., and Byrnes, J.P. (2011). Self-regulated learning and technology enhanced learning environments: An opportunity-propensity analysis. In Dettoni, G., and Persico, D. (Eds.), *Fostering self-regulated learning through ICT* pp. 1-26. <https://doi.org/10.4018/978-1-61692-901-5.ch001>
- Bloom B. (1972). Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich (Taxonomy of learning goals for cognition). Weinheim, Basel: Beltz Verlag Bocklaers M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-457
- Ryan, R.M., & Deci E.L. (2002). Overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (p. 3-35). University of Rochester Press.
- Deci E. L., Ryan R. M. (2003a). *Intrinsic Motivation Inventory*. <http://selfdeterminationtheory.org/questionnaires/>
- Deci E. L., Ryan R. M. (2003b). *Basic Psychology Needs Scale*. <http://selfdeterminationtheory.org/questionnaires/>
- Dignath C., Büttner G. & Langfeldt H. (2008). How can primary school pupils learn SRL strategies most effectively? A meta-analysis on self-regulation training programmes. *Educational Research Review* 3(2):101-129. doi: 10.1016/j.edurev.2008.02.003
- Dörrenbächer L. & Perels F. (2016). More is more? Evaluation of interventions to foster self-regulated learning in college. *International Journal of Educational Research* 78, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.05.010>
- Friedrich H. & Mandl H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens (Analysis and promotion of self-regulated learning). In Weinert F. & Mandl H. (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung - Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe Verlag
- Huwer, J., Bock, A. & Seibert, J. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion, *American Journal of Educational Research*, 6, 763-772.
- Huwer, J. & Brünken R. (2018). Naturwissenschaften auf neuen Wegen. Individualisierung mit Tablets im Chemie-Unterricht (Science on new ways. Individualization with tablets in chemistry lessons). *Computer+Unterricht*, 7-10.
- Huwer, J. & Ellks, I. (2017). Multitouch Learning Books beim forschenden Experimentieren (Multitouch Learning Books for inquiry-based learning). In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Eds.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag. 81-94.
- Landmann M., Perels F., Otto B. & Schmitz B. (2009). Selbstregulation (Self-regulation). In Wild E. & Möller J. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88573-3_3
- Landmann, M. & Schmitz, B. (2007). Welche Rolle spielt SelfMonitoring bei der Selbstregulation und wie kann man mit Hilfe von Tagebüchern die Selbstregulation fördern? (What role does SelfMonitoring play in self-regulation and how can diaries be used to promote self-regulation?) In Gläser Zikuda M. & Hascher T. (Hrsg.), *Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und bewerten - Lernagebuch & Portfolio in Forschung und Praxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt Verlag.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. 2. ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Official Journal of the European Union (2018). *On key competences for lifelong learning*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=urisrv%3AQJ.C_2018.189.01.0001.01.ENG&toc=OJ%3AC%3A2018%3A189%3
- ATOC (accessed May 2020)

- Otto B. (2007). *SELVES - Schüler, Eltern- und Lehrertraining zur Vermittlung effektiver Selbstregulation* (Student, parent and teacher training to educate effective self-regulation). Berlin: Logos Verlag
- Otto B., Perels F. & Schmitz B. (2011). Selbstreguliertes Lernen (Self-regulated Learning). In Reinders H., Ditton H., Gräsel C. & Gniewosz B. (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Perels F., Dignath C. & Schmitz B. (2009). Is it possible to improve mathematical achievement by means of self-regulation strategies? Evaluation of an intervention in regular math classes. *European Journal of Psychology of Education* 24(1), 17-31. <https://doi.org/10.1007/BF03173472>
- Perels F., Dörenbacher, L. (2018). *Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien* (Self-regulated Learning and (technology based) educational Media), Lernen mit Bildungstechnologien, Springer Verlag, 6.
- Perels F., Gürtler T. & Schmitz B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. *Learning and Instruction*, 15(2), 123-139.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In Boekaerts M., Pintrich P., & Zeidner M. (Hrsg.), *Handbook of Self-Regulation*. San Diego, CA: Academic Press.
- Reinmann-Rothmeier G. & Mandl H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten (Creation of lessons and learning environments). In Knapp A. & Weidenmann B. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basch: Beltz Verlag
- Salle (2015). *Selbstgesteuertes Lernen mit neuen Medien. Arbeitserhalten und Argumentationsprozesse beim Lernen mit interaktiven und animierten Lösungshilfen* (Self-directed learning with new media. Working behaviour and argumentation processes in learning with interactive and animated solution examples). Wiesbaden: Springer Spektrum
- Seibert, J., Kay, C.W.M. & Huwer, J. (2019). EXPLAINistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 2503-2509.
- Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., Kay, C. W. M. & Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education. *World Journal of Chemical Education*, 8(1), 1-8. doi: 10.12691/wjce-8-1-1.
- Seibert, J., Marquardt, M., Pihle, S., Carbon, A., Lang, V., Heuser, K., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2020). Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book. *World Journal of Chemical Education*, 8(1), 9-20.
- Seibert, J., Heuser, K., Lang, V., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (submitted). Multitouch Experiment Instructions to promote self-regulation in inquiry-based learning in Schülerlabors. *Journal of Chemical Education*.
- Zimmermann B. (2000). Atraining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective. In Boekaerts M., Pintrich P. & Zeidner M. (Hrsg.), *Handbook of Self-Regulation*. San Diego: Academic Press.



2.3.7. Multitouch Experiment Instructions zur Förderung der Selbstregulation beim Forschenden Lernen im Schülerlabor

Digitale, interaktive Experimentalanleitungen, welche als Multitouch Experiment Instructions (MEIs) bezeichnet werden, werden beim Forschenden Experimentieren im Fach Chemie zur Förderung des individuellen Lernens eingesetzt, indem durch das Angebot vielfältiger Hilfestellungen eine individuelle Unterstützung der Lernprozesse der Schüler*innen erfolgt. Das forschende Experimentieren erfordert ein hohes Maß an Selbstregulation, da die Planung, Durchführung und Reflexion eigenständiger Experimente zur kognitiven Überlastung und Demotivation der Lernenden führen kann. Selbstregulationstrainings bieten eine Möglichkeit der Förderung der Selbstregulation der Schüler*innen und besitzt einen positiven Effekt auf die akademische Leistung der Schüler*innen. Daher stellt sich die Frage, ob eine Integration eines Selbstregulationstrainings in eine MEI den Wissenszuwachs und die Entwicklung der Selbstregulation gegenüber dem Einsatz von MEIs ohne Selbstregulationstrainings fördert. Der Wissenszuwachs und die Entwicklung der Selbstregulation von 88 Schüler*innen beim Experimentieren anhand einer MEI wurde mit dem Einsatz einer MEI mit integriertem Selbstregulationstraining verglichen. Hierbei stütze sich die Konzeption des Selbstregulationstrainings auf das Sozial-kognitive Modell der Selbstregulation von Zimmerman (2000). Die Testung fand im Schülerlabor NanoBioLab an der Universität des Saarlandes im Rahmen einer Prä-Posttestung statt. Bei Vergleich der Gruppen untereinander zeigten sich keine signifikanten Unterschiede des Wissenszuwachses und der Steigerung der Selbstregulation zwischen Kontrollgruppen und Experimentalgruppen. Allerdings ist ein statistisch signifikanter Wissenszuwachs bei allen untersuchten Gruppen zu verzeichnen und eine statistisch signifikante Steigerung der Selbstregulation bei den Kontrollgruppen sowie einer Experimentalgruppe. Bei Untersuchung des Einflusses des Geschlechts der Lernenden konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich des Wissenszuwachses festgestellt werden, bezogen auf die Selbstregulation wurde jedoch bei männlichen Lernenden eine signifikante Steigerung im Gegensatz zu den weiblichen Lernenden verzeichnet.

Publikation L:

Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories

Johann Seibert¹, Katrin Heuser¹, Franziska Perels², Johannes Huwer³, Christopher W. M. Kay¹

Eingereicht am 15. September 2020

Angenommen am 30. Januar 2021

Publiziert am 12. März 2021

Abgedruckt mit Erlaubnis von:

Johann Seibert, Katrin Heuser, Vanessa Lang, Franziska Perels, Johannes Huwer, and Christopher W. M. Kay, Journal of Chemical Education 2021 98 (5), 1602-1609

DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c01177

Copyright © 2020, American Chemical Society.

Eigener Anteil am Manuskript:

- Essenzieller Beitrag beim Schreiben des Manuskripts
- Methode mitentwickelt
- Evaluation mitbegleitet

¹Universität des Saarlandes, Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie

²Universität des Saarlandes, Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

³Universität Konstanz, Fachdidaktik der Naturwissenschaften

Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories

Johann Seibert,* Katrin Heuser, Vanessa Lang, Franziska Perels, Johannes Huwer,* and Christopher W. M. Kay



Cite This: *J. Chem. Educ.* 2021, 98, 1602–1609



Read Online

ACCESS |



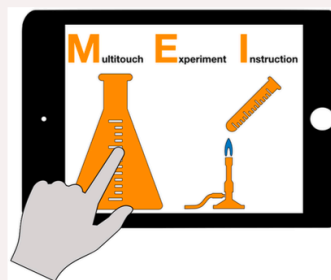
Metrics & More



Article Recommendations

ABSTRACT: Multitouch experiment instructions (MEIs), implemented as interactive eBooks, are learning tools for pupils that offer various digital support tools and enable pupils to individualize their learning. They may be applied to contexts such as inquiry-based experiments in school laboratories, which involve highly demanding cognitive processes and require a high level of self-regulation. Self-regulation has been shown to be reliably promoted by interventions which include the targeted training of self-regulation strategies. A MEI was designed as an interactive eBook on experiments on the topic “Analysis of Cola”, suitable for an inquiry-based learning environment such as a school lab. The MEI’s potential to promote self-regulated learning was investigated by comparing it to a MEI with digital, integrated self-regulation training. The data revealed a significant increase of self-regulation in the control group, which consisted of pupils experimenting with the MEI on its own, and one experimental group, which included pupils that were supported by the MEI with an additional self-regulation training. It can be assumed that the MEI’s ability to promote self-regulated learning is comparable to the results achieved by an additional self-regulation training which explicitly addressed self-regulation strategies. This highlights the MEI’s potential to promote self-regulated learning in an indirect approach.

KEYWORDS: Elementary/Middle School Science, High School/Introductory Chemistry, Interdisciplinary/Multidisciplinary, Curriculum, Hands-On Learning/Manipulatives, Inquiry-Based, and Multimedia-Based Learning



INTRODUCTION

While self-regulation has long been a research interest in the field of psychology, its relevance to education has also been widely recognized. This has been highlighted by its definition as a cross-curricular competence which equips pupils for life-long learning by the PISA consortium.¹ This development is accompanied by the challenge of incorporating Information and Communication Technology (ICT), whose increasingly significant role in the classroom has been recognized by the publication of guidelines for the development of digital competencies by the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs.² School laboratories, especially those which offer an inquiry-based learning environment, may represent a sensible complement to established teaching methods. In order to support individualized learning in such an environment, Multitouch Experiment Instructions (MEIs) serve as learning tools for pupils which offer various digital support tools aimed at different categories of experimental problems and provide individual, targeted support. This article focuses on the implementation of MEIs as interactive eBooks and elaborates on their potential to promote knowledge acquisition and self-regulation (SRT) by comparing them to a MEI with self-regulation training (SRT).

THEORETICAL BACKGROUND

Self-Regulation

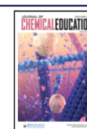
The relevance of self-regulation is manifold: high-achieving students apply more self-regulation strategies than lower achieving students, which shows its impact on academic performance,³ and it is a key competence in relation to life-long learning,⁴ a cross-curricular competence,¹ and may enable pupils to independently acquire knowledge and skills to meet unprecedented challenges regarding their future on the labor market.

Zimmerman⁵ (p 14) defines self-regulation as follows: “Self-regulation refers to self-generated thoughts, feelings and actions that are planned and cyclically adapted to the attainment of personal goals”. Self-regulation in the context of learning can be described as self-regulated learning, which

Received: September 15, 2020

Revised: January 30, 2021

Published: March 12, 2021



ACS Publications

© 2021 American Chemical Society and
Division of Chemical Education, Inc.

1602

<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c01177>
J. Chem. Educ. 2021, 98, 1602–1609

aims at the reflected use of appropriate strategies in the respective learning situation and also includes motivational and metacognitive regulation on part of the pupils.

Zimmerman emphasizes the cyclical character of self-regulation in his social-cognitive model and divides the underlying processes into three phases, which form a cycle.⁵ The initial step is a forethought phase which includes self-motivation and task analysis, involving not only an analysis of requirements and potential difficulties but also aspects of goal setting and strategic planning. Intrinsic interest in the action or task leads to a high level of motivation, which can be decisive for the actual execution of the action.

If this prerequisite is met, pupils initiate the performance of the task or action, exercise self-control to focus on the task at hand, identify and prioritize action steps they should take, and apply and optimize their problem-solving strategies. At a metacognitive level, pupils also monitor certain aspects of their performance to assess its effectiveness, which enables them to detect patterns which they take into consideration when it comes to the next forethought phase.

This aspect already refers to self-reflection of the performance, which constitutes the last phase of the self-regulation cycle. Pupils carry out a self-assessment by comparing the information gathered during self-observation with the goals they set out to achieve as well as by ascribing their success or failure to a cause as part of causal attribution. This self-assessment triggers an emotional reflection of the performance outcomes, which has consequences for future learning processes and Zimmerman refers to as self-reaction.¹ The outcome of the pupils' self-reaction has an impact on the motivation for future actions, including their choice of learning strategies, and on how ambitious future goals are set. Overall, the reflection determines how the learning process is adapted in the future, meaning that the self-reflection process undergoes an iteration as feedback on the performance phase is harnessed for optimizing future actions.^{6,7}

Self-regulation has been shown to be successfully promoted by interventions for learners in different age groups, especially those which are integrated into actual subject content.^{8,9} The effectiveness of these interventions also applies to primary school pupils and is not subject-specific.^{8,10}

Interestingly, successful interaction with educational multimedia environments requires a certain degree of self-regulation on part of the learners. As empirical studies have shown, a high degree of self-regulation, therefore, has a beneficial effect on learning with digital learning environments.⁴ Pupils who fail to regulate their learning may lose their motivation when dealing with a complex learning environment or might not be able to focus their attention in the degree required to solve complex task. This shows that especially when it comes to multimedia learning environments, the pupils' self-regulation needs to be taken into account. While digital learning environments do not in themselves promote self-regulated learning, educators should consider the requirements of hypermedia environments and design the environment accordingly such as by integrating support tools or prompting as they provide new ways to promote self-regulated learning.¹¹ Digital media proves to be successful in promoting self-regulation through forms such as individual eLearning via online platforms or multimedia learning environments which are also enriched with support tools or employ prompting.^{12–14} A well-designed digital learning environment may enable even pupils with a low

level of self-regulation to successfully interact with the content it provides.

In addition to multimedia design principles, the cognitive load pupils are confronted with needs to be taken into account when constructing multimedia learning environments.^{15,16} Thus, a cognitive overload should be avoided as it may affect the effectiveness of the intervention. Multimedia learning environments are an attractive realization of self-regulation training in the context of experimentation since a combination with a digital experiment instruction is possible.

Multitouch Experiment Instructions: Interactive Multimedia Content As Experimental tool

ICT in science education can generally fulfill three didactic functions.¹⁷ ICT can be harnessed as an **experimental tool** in order to facilitate experimentation, for example, by using a pH electrode with digital data acquisition. In the role of a **learning companion**, ICT accompanies the learning process over a certain time period to promote cognitive and individual learning processes, such as a unit in the curriculum.^{18–22} One implementation is the Multitouch Learning Book (MLB), an interactive eBook consisting of several modules which connects formal and nonformal learning environments.²³ This connection defines one of the major advantages for successful learning in a nonformal learning environment.²⁴ In contrast to learning companions, **learning tools** are tailored to support cognitive learning processes in a specific situation such as a visit of a school lab.

MEIs, interactive, digital experiment instructions, are one way of creating a learning tool and may be implemented as interactive eBook or Augmented Reality. For example, iBooks Author, free software for macOS, enables the creation of interactive eBooks which can be used on an iPad as a terminal. In the eBooks we create, interactive interfaces are implemented. From a technical point of view, those are referred to as widgets. MEIs cover a wide range of interactive content by the integration of widgets on top of content such as videos, documents, or presentations. MEIs are especially suited for inquiry-based instruction. Inquiry-based learning is in stark contrast to the mere replication or verification of findings; it rather aims at the individual construction of knowledge and skills through interaction with the learning topic.²⁴ In this nonformal, inquiry-based learning environment, MEIs offer pupils individual support due to interactive tools, called widgets, which focus, on one hand, on individual tasks depending on their knowledge and, on the other hand, on supporting tools for experimental problems, comprehension problems, and language support. How pupils choose to use the provided support tools determines the degree of openness of the experiments. In addition to support tools from which particularly weaker pupils may benefit, high-performing pupils are encouraged by additional challenging exercises. Widgets can fulfill various functions such as activating prior knowledge, documenting experimental setups and measurement data, evaluating measurement data, and verifying pupils' results and may also promote pupils' digital media literacy.

Therefore, MEIs also serve to implement ways of using digital media such as the ones described by the SAMR-Model by Puentedura.²⁵ Puentedura describes how teaching and learning can be improved by the use of digital media which can enhance or even transform the learning process. On the lowest level (substitution), conventional tasks or teaching material are simply replaced by digital media while the task remains the

same. Enhancement of the learning process is achieved by augmentation of tasks and teaching material which leads to functional improvements due to harnessing technical possibilities of digital media. However, digital media can also lead to a transformation of learning and teaching which includes redesigning tasks by integrating digital media (modification) or even enabling new tasks and learning paths which would not have been possible without digital media (redefinition). Especially the last two aspects of the model, namely modification and redefinition of exercises and teaching methods, can be achieved by MEIs. Rather than simply providing a digital version of a conventional experiment instruction, the widgets which MEIs are enriched with enable novel types of exercises. For example, a matching task with instant feedback helps pupils to confirm the results of an experiment without disclosing them to the pupils in advance. Thus, MEIs pave new learning paths by enabling the redefinition of methods and exercises.

These benefits are by no means theoretical as MEIs have also been deemed effective in interventions. The implementation of MEIs as interactive eBooks and Augmented Reality on the topic of "Analysis of Alkenes" by Seibert and co-workers²⁶ showed the promotion of motivational aspects of learning and led to an equally positive feedback from pupils and teachers alike.

Support of Inquiry-Based Learning in Nonformal Learning Environments by Multitouch Experiment Instructions

Learning is not limited to the school context, which is why a cross-linking of formal, nonformal, and informal learning environments may be beneficial for pupils to prevent the formation of inert knowledge. As nonformal learning environment, school laboratories are understood to be places of learning outside the school context which allow pupils to conduct experiments on topics which may or may not be relevant to the school curriculum and concern their everyday life.²⁷

In addition to nonformal learning contexts, inquiry-based learning may increase pupils' grasp of chemical concepts and comprehend the methods of scientific knowledge acquisition.²⁸ Inquiry-based learning does not equal learning by random discovery but also differs from confirmation inquiry, which requires pupils to confirm findings by following "recipe-like" experiment instructions. Pupils are provided with a research question, develop theories, form hypotheses and test them by planning, conducting, and evaluating experiments. This is especially beneficial in a nonformal learning environment which provides specialized laboratory equipment as well as targeted support by tutors, which a single teacher would not be able to provide in a formal context.

However, inquiry-based learning requires complex cognitive processes because pupils need not only to plan and conduct their experiments but also develop hypotheses and interpret their findings accordingly. This is accompanied by strategies which concern self-regulation such as elaborative, motivational, or metacognitive strategies.

MEIs as a learning tool may provide the necessary framework for a learning environment which enables the promotion of self-regulated learning. To boost the pupils' motivation, topics are chosen which demonstrate the relevance of chemistry for their everyday life. The cognitive processes related to experiments are supported, for example, by exercises to activate the pupils' prior knowledge or widgets to

individualize the assistance pupils are provided with. One aspect, which needs to be taken into account during the development of the MEI, is of course the cognitive load pupils process during the experiment. Overall, MEIs are ideally suited for use in nonformal learning situations as they enable individualized learning.

The objective of our intervention was to investigate the following research questions:

- (1) How does experimenting with a MEI and a MEI with integrated self-regulation training affect pupils' self-regulation?
- (2) Does a MEI without self-regulation training have the potential to promote pupils' self-regulation to the same degree as a MEI with an additional self-regulation training?
- (3) How does interacting with a MEI and with a MEI with self-regulation training affect cognitive aspects such as pupils' knowledge acquisition?

(1) As self-regulation training has been shown to be successful in analogue as well as digital learning environments, a self-regulation training which is integrated into the subject content should be able to promote pupils' self-regulation. Therefore, a positive impact on pupils' self-regulation score is an expected outcome for experimenting with a MEI with added self-regulation training.

Research question (2) aims at investigating the central issue whether multimedia learning environments may under certain conditions promote self-regulation. This may be due to their structure, support tools for individualized learning and demands on pupils' ability to interact with the multimedia environment, which could indirectly train pupils' self-regulation. If this were the case, it could enable teachers to foster pupils' self-regulation without reserving time to explicit self-regulation training while also promoting their digital competences. Concerning research question (3), it should be considered that interacting with a MEI with self-regulation training presents a higher cognitive load compared to the MEI on its own. This is why knowledge acquisition may be compromised due to the additional input provided by the self-regulation training.

■ IMPLEMENTATION OF MULTITOUCH EXPERIMENT INSTRUCTION AND SELF-REGULATION TRAINING

Design of Multitouch Experiment Instruction as an Interactive eBook

Multitouch Experiment Instructions can be described as interactive, multimedia experiment instructions which are tailored to assist pupils of different levels of performance. An implementation of MEIs as an interactive eBook includes not only the experimental tasks that would be present in an analogue experiment instruction but enriches them with further tasks and individual support to address problems of various types which pupils can access at their own discretion.

Pupils are provided with tablets including the MEI after completing the safety instructions in the school lab and are then free to conduct experiments with assistance of the MEI. When opening the eBook on their tablets, pupils are directed to an overview page and navigate between the experiments with the help of buttons. Each experiment is represented by a page in the eBook which contains the title, the research objective and digital media such as videos and presentations as

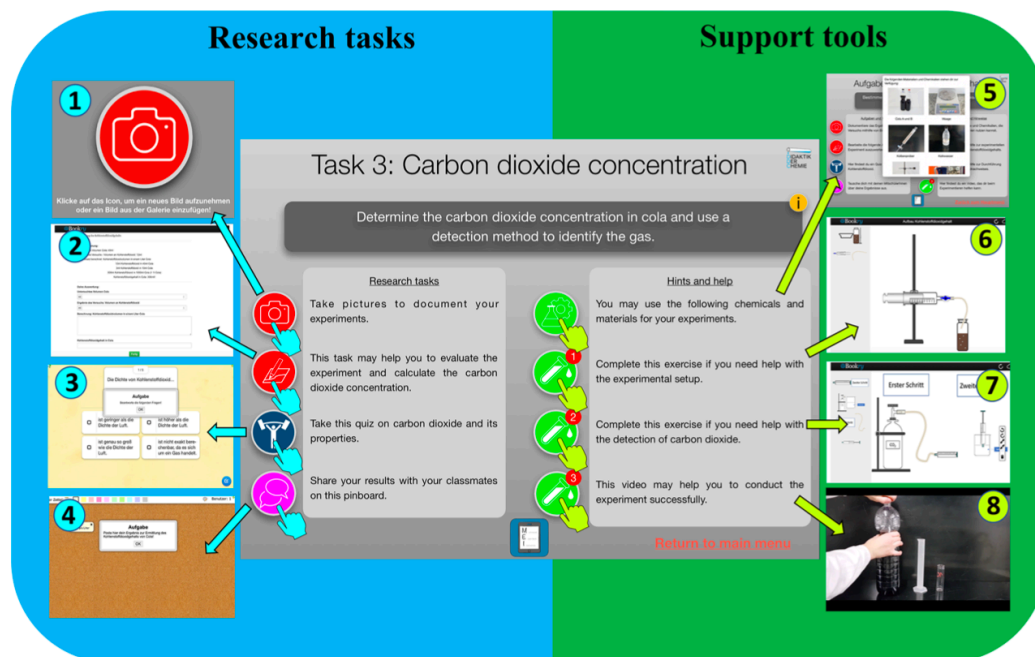


Figure 1. Experiment 3: Tasks to analyze carbon dioxide concentration. Marked in blue: Research tasks guide pupils toward answering the research objective. (1) Camera widget. (2) Widget to assist data collection and evaluation. (3) Multiple-choice quiz. (4) Pinboard. Marked in green: Support tools to individualize pupils' learning process. (5) Overview of chemicals and materials (6, 7) Drag-and-drop widgets to assist experimental setup. (8) Video supporting the execution of the experiment.

well as widgets, which pupils access over buttons. The MEI "Analysis of Cola" includes four mandatory experiments, which cover the analysis of density, carbon dioxide concentration, and sugar content of cola drinks and their sugar-free counterparts, as well as an optional experiment on phosphoric acid in cola. In order to examine the structure of the MEI in detail, the third experiment on carbon dioxide will be considered in the following.

The research objective is presented in a gray box on the upper part of the page beneath the heading (see Figure 1). On this basis, pupils develop hypotheses and test them by planning and executing experiments. In order to guide the pupils, a distinction is made between research tasks and support tools, which is highlighted by the spatial separation of these aspects on the overview page.

While the research tasks are mandatory for pupils as they serve to document, evaluate, and compare their results, pupils are free to choose the support they wish to take advantage of. Pupils document their experiment with a camera widget (Button 1) which allows them to take pictures of their experimental setup and their observations, which may be used to evaluate the experiment. In order to support the evaluation of the experiment, the next widget (Button 2) covers the calculation of the carbon dioxide concentration by dividing it into several calculation steps, and pupils are provided with a worked-out example. The third widget includes a multiple-choice quiz (Button 3) with instant feedback on the properties of carbon dioxide and the detection of carbon dioxide. As these

topics are part of the Saarland curriculum for grade 5, 6, and 8, this serves as a revision to activate pupils' prior knowledge and sets the experiments into perspective. As each federal state in Germany has its own curriculum for the respective subjects, it is difficult to choose a comprehensive topic that can be transferred to other federal states. Moreover, the various curricula are designed differently. In the federal state of Saarland a competence-oriented curriculum is used, whereas in other federal states, e.g., Rheinland-Pfalz, a context-oriented approach is chosen. However, the learning requirements for this experiment are, on the whole, already taught in the lower grades, which is why the assignment to the curriculum specific to the federal state hardly plays a role. After conducting their experiments, pupils communicate their results with their classmates on a pin board (Button 4) with the research teams forming a scientific community which provides feedback and discusses experimental problems.

Apart from research tasks, pupils are also provided with support in order to individualize their learning. The support tools are aimed at several categories of problems pupils might face, such as language support, experimental support, and comprehension, which are each represented by a special icon throughout the eBook. An overview of materials and chemicals which pupils can use for their experiments is provided by means of pictures and text (Button 5). This allows pupils to identify the laboratory equipment they need even when they are not familiar with the technical terms. When it comes to experimental problems, pupils are supported with three

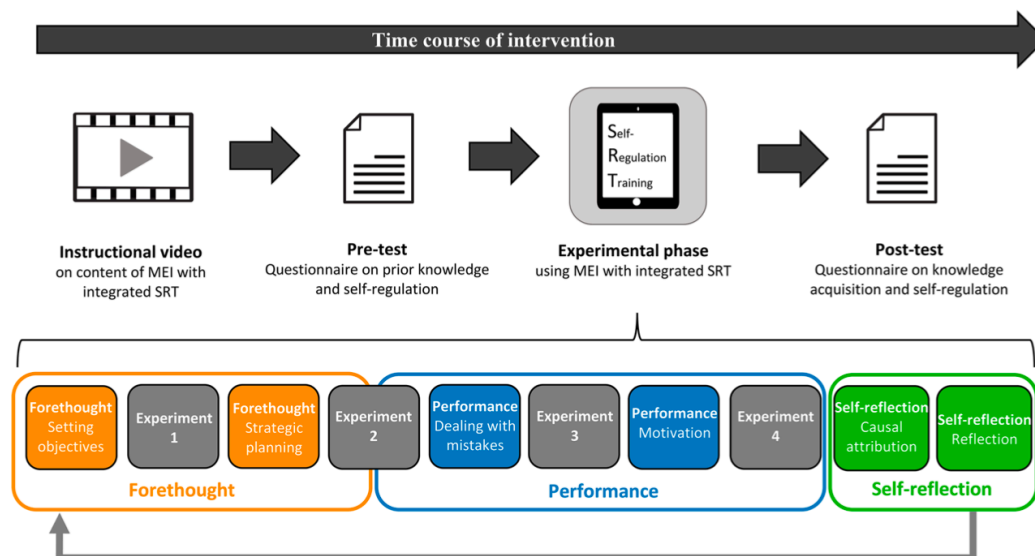


Figure 2. Integration of self-regulation training in Multitouch Experiment Instruction.

widgets which offer different levels of support. Two drag-and-drop widgets (Buttons 6 and 7) support pupils in planning the experimental setup of the two subtasks of the research objective. The last step of experimental support is a video which includes instructions for the execution of the experiment (Button 8). Once pupils have completed the task and conducted their experiments, a hyperlink on the right-bottom corner lets pupils proceed to the next experiment.

Conception of Self-Regulation Training in a Multitouch Experiment Instruction

As already pointed out, it has been shown that the effectiveness of self-regulation training can be enhanced by presenting it in relation to the subject matter, which is why the modules on self-regulation were merged with the MEI. As an introduction, an instructional video is shown, so pupils gain an overview of structure and contents of the MEI. The individual modules on self-regulation, which cover six selected subscales of self-regulation, were arranged between the experiments (see Figure 2). Taking the phases of self-regulation by Zimmerman⁵ into consideration, a distinction between forethought, performance and reflection was made. After covering the subscales of self-regulation in theory, pupils apply the acquired strategies in exercises and then put them into practice in connection with their experiments. For example, before progressing to the first experiment, pupils are guided to a section on setting goals, which encourages them to carefully plan their experiments before carrying them out. In the context of inquiry-based learning, organizational learning strategies enable pupils to be persevering and solve the research questions independently, despite the drawbacks they might experience.

Also, the phases of self-regulated learning are structurally similar to the phases of experimenting. Neber and Anton elaborate three main phases of inquiry-based experimentation.²⁹ The pre-experimental activity includes the identification of tasks, the activation of prior knowledge, the formulation of

questions, the presumption of answers, and the planning of the procedure. In the experimental phase, the actual experiment is carried out, the respective findings are analyzed and interpreted. In the postexperimental activity, the pupil should link the newly acquired knowledge with existing structures and evaluate it in a feedback loop with the pre-experimental activity. These three phases correspond almost directly to the three phases of self-regulation according to Zimmerman.⁵ For exactly these three phases, a MEI offers the possibility of promoting the phases of theoretical preparation, independent experimentation, and evaluation as well as explanation of the experimental findings through the targeted implementation of digital tools. This accounts for why strategies of self-regulation can easily be integrated in the process of experimenting. When it comes to the self-regulation training, certain specific strategies were selected in order to cover a reasonable amount of input and avoid a cognitive overload. The focus was set on the subscales of goal setting, motivation, strategic planning, dealing with mistakes, causal attribution, and reflection.

To instruct these strategies, the training includes input which is provided by videos, short texts, and presentations, as well as exercises, which require pupils to apply the provided information to the context of experimenting in the school lab. This aims at facilitating the actual application to the pupils' individual learning processes. One specific strategy included in the self-regulation training, for example, is intrinsic motivation. Input about the distinction between intrinsic and extrinsic motivation³⁰ is provided by a short text with examples. In an allocation exercise, pupils then identify examples of intrinsically motivated actions from a pool of everyday examples which are relevant for the pupils and receive instant feedback on their allocation. In order to apply the content to themselves, the next exercise requires them to advise an unmotivated pupil how to motivate himself to carry on experimenting (transfer). Notably, the feedback loop of self-regulation is covered as well by means of an exercise which asks pupils to write an "e-mail to

Table 1. Comparison of T-Test Pre- and Posttest Data for Multitouch Experiment Instruction with and without Self-Regulation Training

variables (grade)	test conditions		mean scores ^c (SD)		<i>t</i> (df) ^g	<i>p</i>	<i>d</i> ⁱ
	group	<i>N</i> ^d	pretest	posttest			
knowledge acquisition (9)	CG ^a	34	4.59 (1.46)	6.41 (1.74)	−6.27 (33)	0.000 ^h	2.18
	EG1 ^b	31	3.74 (1.06)	5.23 (1.56)	−3.34 (30)	0.000 ^h	2.07
self-regulation (9)	CG ^a	34	4.48 (0.81) ^f	4.75 (0.80) ^f	−2.15 (33)	0.020 ⁱ	0.75
	EG1 ^b	31	4.03 (0.95) ^f	4.18 (0.68) ^f	−0.87 (30)	0.197	0.32
knowledge acquisition (7)	EG2 ^c	23	2.74 (1.18)	4.52 (0.85)	−6.89 (22)	0.000 ^h	2.94
self-regulation (7)	EG2 ^c	23	4.20 (0.95) ^f	4.50 (0.89) ^f	−2.04 (22)	0.027 ⁱ	0.87

^aControl group, grade 9. ^bExperimental group, grade 9. ^cExperimental group, grade 7. ^dTotal *N* = 88. ^eScores for the cognition questionnaire have a scale range of 0–8. ^fScores for the self-regulation questionnaire have a scale ranging from 1 (fully disagree) to 6 (fully agree). ^gDegrees of freedom. ^h*p* < 0.01. ⁱ*p* < 0.05. ^jCohens *d*: high effect size for $|d| > 0.8$. Medium effect size for $0.8 > |d| > 0.5$. Small effect size for $|d| < 0.5$.

the past” to reflect their strategies, mistakes and results, including planning what they would like to improve if they had the chance to resume their experiments.

Research Method

The MEIs as an interactive eBook on the topic “Analysis of Cola” were tested on 88 pupils (52% female) in grades 7 and 9 who experimented in the context of a school lab. Twenty-three seventh-grade pupils participated in the intervention (*N* = 23, average age 12.78 years, *SD* = 0.59), while the remaining 65 pupils were in grade 9 (*N* = 65, average age 14.69, *SD* = 0.71). A total of four classes took part in the evaluation and were allocated to a control and an experimental intervention group. Pupils allocated to the control group (CG) conducted their experiments with assistance of the MEI, while the experimental group (EG) experimented with the MEI with integrated self-regulation training. As one class consisted of seventh grade pupils, a distinction is made between the first experimental group, comprising ninth-grade pupils, and a second experimental group, which the seventh-grade pupils were allocated to. The intervention took place at the “NanoBioLab”, an established school lab located at Saarland University (Germany), which provided an inquiry-based learning environment. The pupils visited the NanoBioLab with their teachers in the morning and had a time frame of 3 h for their experiments. Before experimentation, the pupils received safety instruction as well as information on the topic of their experiments and the structure of the MEI by means of a prerecorded video to standardize the input the groups were provided with. Data on the effect of the intervention on pupils’ knowledge acquisition and self-regulation was collected using a prepost design. For this purpose, a questionnaire to assess knowledge acquisition was constructed with multiple-choice items and a maximum score of 10 points. To evaluate self-regulation, a questionnaire was constructed based on the social-cognitive model by Zimmerman,⁵ with 14 items based on items from Deci and Ryan,^{31,32} which were adapted to the context of experimenting in a school lab. Pupils used a forced-choice scale of 1–6, with 1 being “strongly disagree” and 6 being “strongly agree”. The self-regulation questionnaire had a high internal consistence (Cronbach’s α = 0.88).

Comparison of the Interactive eBook Material for “Analysis of Cola” Including a Self-Regulation Training

The experimental conditions, namely experimenting with or without an integrated SRT, was set as independent variable. The influence of the independent variable on the pupils’ knowledge acquisition, which was set as dependent variable, was investigated by calculating paired *t* tests to compare pre-

and posttest data (Table 1). A statistically significant increase was observed for all groups (*p* = 0.000) compared to the control group (CG) consisting of ninth graders, including the second experimental group (EG2), which consisted of pupils from grade 7 who had less prior knowledge on the topic than the pupils in grade 9 (EG1). The effect size can be considered as high with Cohens *d* = 2.18 for the control group (CG), 2.07 for the first experimental group (EG1), and 2.94 for the second experimental group (EG2). After testing for variance homogeneity, unpaired two-tailed *t* tests were performed to determine the difference in knowledge acquisition between the groups. Experimental groups showed no significant difference in knowledge acquisition compared to the control group.

A significant increase in self-regulation overall was found for CG as well as for EG2 with an effect size of *d* = 0.75 and 0.87, respectively. For EG1, only a descriptive increase was observed. Notably, this increase among pupils who received self-regulation training applies to EG2 which consisted of pupils in grade 7. Even prior to the intervention, the pretest data indicates the CG as exhibiting the highest degree of self-regulation compared to the experimental groups (see Table 1).

No significant difference was found between knowledge acquisition of male and female pupils (*p* = 0.260, *d* = 0.29, *df* = 63). However, while male pupils showed an increase in self-regulation (*p* = 0.000, *d* = 1.78, *df* = 27), this increase differs significantly (*p* = 0.000, *d* = 1.22, *df* = 38) from the self-regulation of female pupils (*p* = 0.140, *d* = 0.50, *df* = 63). This suggests that male pupils benefit more from the inquiry-based experimental setting regarding self-regulation in contrast to their female classmates. Interestingly, this effect applies to pupils regardless of which experimental group they were allocated to.

DISCUSSION

It was the aim of the study to analyze the impact of MEIs as interactive eBooks regarding their potential to promote knowledge acquisition and self-regulation by comparing them to an MEI with self-regulation training (SRT). With the help of the presented study the research questions (1), (2), and (3) can be answered:

- (1) Self-regulation was increased in all pupils except for EG1. Overall, the study also shows that the use of a MEI with or without integrated self-regulation training leads to an increase in self-regulation regardless of the grade. It is also obvious that the use of a digital learning environment per se can lead to an increase in self-regulation. The integration of a separate training changes

the learning and the effect on self-regulation neither negatively nor positively.

- (2) A MEI without self-regulation training also has the potential to promote self-regulation, as does a MEI with integrated self-regulation training. Based on the presented study, it can be shown that the digital learning environment can promote self-regulation in students when they experiment and that, first and foremost, no additional training is required for this.
- (3) Similarly, it was found that in both variants the cognitive acquisition of knowledge as a partial aspect of self-regulation was significant. In both cases, it was shown that a corresponding increase through the additional integration of a training course does not provide any significant added value for the increase in knowledge. It can therefore be said that a MEI, as a digital learning environment, has a positive effect on learning in chemistry but also promotes knowledge acquisition.

It seems that a successful interaction with the hypermedia environment provided by a MEI combined with the cognitive processes involved in inquiry-based learning might already promote self-regulatory aspects. Several aspects might have influenced our findings. For example, strategies to promote self-regulation need not only to be implemented by the pupils but are also only used efficiently after a certain period of practice and automation, which would have only come into effect during a longer intervention period.³³

Furthermore, prompting provided by tutors might have promoted certain aspects of self-regulation. However, the support provided by the tutors was a prerequisite for safety and technical support during the experimentation process. Both experimental groups and control groups received the same support from the tutors, thus a specific influence on the results of one group is unlikely. Also, additional input as part of the self-regulation training might have resulted in focus on understanding subject-relevant content over self-regulatory strategies, which would account for our findings.

It should also be considered that awareness of the aspects associated with self-regulation might have led pupils to a better understanding of the questionnaires which is why they might have focused on their shortcomings in the posttest. This could have caused a bias toward a lower score in the self-regulation questionnaire. A multimethod approach might be more beneficial for future research than self-report instruments, in order to document the stages of strategy implementation and enhance objectivity.

CONCLUSION

Overall, the intervention showcases the MEI's ability to promote self-regulated learning in an inquiry-based learning environment. Knowledge acquisition was increased both in control and experimental groups which shows that the cognitive load generated by the additional training did not have a negative effect. This demonstrates the effectiveness of inquiry-based learning using an MEI. In contrast to our hypothesis, experimenting with a MEI as an interactive eBook promotes self-regulation as effectively as experimenting with an enriched version of the MEI, which includes self-regulation training. Therefore, MEIs have the potential to promote self-regulated learning even without explicitly addressing aspects of self-regulation. This might be the case because due to the complexity of a multimedia, interactive MEI, experimenting

with the MEI might already require students to apply self-regulation strategies in order to achieve a successful interaction with the MEI. Also, the nature of inquiry-based learning requires pupils to regulate their learning processes, which could have led to a promotion of organizational strategies, regardless of the experimental conditions. It might be the case that a MEI with integrated self-regulation training results in a cognitive overload due to the amount of information to be processed by the pupils. This may lead pupils to focus their cognitive capacities on solving the research questions rather than engaging with the self-regulation training and applying the strategies the training introduces. However, this raises the question if the integrated self-regulation training showed no effect because the pupils' interaction was inefficient or at least not sufficient due to a cognitive overload caused by the material or the aspects and strategies covered in the self-regulation training were already promoted through the interaction with the MEI. In further research questions it would be interesting to examine whether the results obtained can be transferred to other learning scenarios. The interactive eBook may be found at <https://www.chemie.uni-konstanz.de/ag-huwer/forschung/downloads/>.

AUTHOR INFORMATION

Corresponding Authors

Johann Seibert – Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany; orcid.org/0000-0002-5967-489X; Email: johann.seibert@uni-saarland.de

Johannes Huwer – Science Education, University of Konstanz, 78457 Konstanz, Germany; orcid.org/0000-0002-4271-7822; Email: johannes.huwer@uni-konstanz.de

Authors

Katrin Heuser – Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany

Vanessa Lang – Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany

Franziska Perels – Department of Educational Sciences, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany

Christopher W. M. Kay – Physical Chemistry and Didactic of Chemistry, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany; London Centre for Nanotechnology, University College London, London WC1H 0AH, United Kingdom; orcid.org/0000-0002-5200-6004

Complete contact information is available at: <https://pubs.acs.org/10.1021/acs.jchemeduc.0c01177>

Notes

The authors declare no competing financial interest.

ACKNOWLEDGMENTS

This project is part of the "Qualitätsoffensive Lehrerbildung", a joint initiative of the Federal Government and the Länder which aim to improve the quality of teacher training. This programme is funded by the Federal Ministry of Education and Research. The authors are responsible for the content of this publication.

■ REFERENCES

- (1) Deutsches PISA-Konsortium. PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. *German PISA consortium: international comparison of pupils' basic competences*; Leske+Budrich: Opladen, 2001; pp 271–297.
- (2) KMK Kultusministerkonferenz. Bildung in der digitalen Welt. *Strategie der Kultusministerkonferenz. (Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs; Education in the digital World*; KMK Berlin, Dec 08, 2016.
- (3) Kitsantas, A. Test preparation and performance: a self-regulatory analysis. *Journal of Experimental Education* 2002, 70 (2), 101–113.
- (4) Perels, F.; Dörrenbächer, L. Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien (Self-regulated Learning and (technology based) educational Media), In *Lernen mit Bildungstechnologien*; Niegemann, H., Weinberger, A., Eds.; Springer Verlag: Berlin, 2018; pp 1–13.
- (5) Zimmerman, B. J. Attaining Self-Regulation - A social cognitive perspective. In *Handbook of Self-Regulation*; Academic Press, 2000; pp 13–39.
- (6) Bembenutty, H. New directions for self-regulation of learning in postsecondary education. *New Directions for Teaching and Learning* 2011, 117–124.
- (7) Bail, F. T.; Zhang, S.; Tachiyama, G. T. Effects of a self-regulated learning course on the academic performance and graduation rate of college students in an academic support program. *Journal of College Reading and Learning* 2008, 39 (1), 54–73.
- (8) Dignath, C.; Buettner, G.; Langfeldt, H.-P. How Can Primary School Pupils Learn Self-Regulated Learning Strategies Most Effectively? A Meta-Analysis on Self-Regulation Training Programmes. *Educational Research Review* 2008, 3, 101–129.
- (9) Dörrenbächer, L.; Perels, F. More is More? Evaluation of Interventions to Foster Self-Regulated Learning in College. *International Journal of Educational Research* 2016, 78, 50–65.
- (10) Donker, A. S.; De Boer, H.; Kostons, D.; van Ewijk, C. D.; van der Werf, M. P. C. Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: a meta-analysis. *Educational Research Review* 2014, 11, 1–26.
- (11) Azevedo, R.; Moos, D. C. Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. *Contemporary Educational Psychology* 2008, 33, 270–298.
- (12) Bellhäuser, H.; Lösch, T.; Winter, C.; Schmitz, B. Applying a web-based training to foster self-regulated learning - Effects of an intervention for large numbers of participants. *Internet and Higher Education* 2016, 31, 87–100.
- (13) Winters, F. I.; Greene, J. A.; Costich, C. M. Self-regulation of Learning within Computer-based Learning Environments: A Critical Analysis. *Educational Psychology Review* 2008, 20, 429–444.
- (14) Azevedo, R.; Cromley, J. G. Does Training on Self-Regulated Learning Facilitate Students' Learning with Hypermedia? *Journal of Educational Psychology* 2004, 96 (3), 523–535.
- (15) Mayer, R. E.; Moreno, R. Techniques That Reduce Extraneous Load and Manage Intrinsic Load during Multimedia Learning. *Cognitive Load Theory*; Cambridge University Press: New York, 2010; pp 131–149.
- (16) Sweller, J. Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. *Cognitive Load Theory*; Cambridge University Press: New York, 2010; pp 29–45.
- (17) Huwer, J.; Brünken, R. Naturwissenschaften auf neuen Wegen. Individualisierung mit Tablets im Chemie-Unterricht (Science on new ways. Individualization with tablets in chemistry lessons). *Computer+Unterricht* 2018, 7–10.
- (18) Seibert, J.; Kay, C. W. M.; Huwer, J. EXplainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions. *J. Chem. Educ.* 2019, 96 (6), 2503–2509.
- (19) Kieserling, M.; Melle, I. Digitisation in chemistry lessons - An experimental digital learning environment with universal accessibility. *Chemistry Teacher International* 2019, 2569–3263.
- (20) Zeller, D.; Bohrmann-Linde, C.; Kläger, S. Digital learning tools for teaching "Alternative Solar Cells with Titanium Dioxide" (ALSO-TiO₂) - a contribution to sustainable development education. *World Journal of Chemical Education* 2020, 8 (1), 29–39.
- (21) Franco, J.; Provencher, B. A. Using a Multitouch Book to Enhance the Student Experience in Organic Chemistry. *J. Chem. Educ.* 2019, 96 (3), 586–592.
- (22) An, J.; Poly, L.-P.; Holme, T. A. Transitioning to eBooks: Using Interaction Theory as a Lens to Characterize General Chemistry Students' Use of Course Resources. *J. Chem. Educ.* 2020, 97 (1), 97–105.
- (23) Huwer, J.; Bock, A.; Seibert, J. The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion. *American Journal of Educational Research* 2018, 6, 763–772.
- (24) Garner, N.; Huwer, J.; Siol, A.; Hempelmann, R.; Eilks, I. On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry. In *Worldwide trends in green chemistry education*; Gomes Zuin, V., Mammino, L., Eds.; RSC: Cambridge, 2015; pp 76–92.
- (25) Puentedura, R. Transformation, Technology, and Education, <http://www.hippasus.com/rpweblog/archives/2013/04/16/SAMRGettingToTransformation.pdf>, 2006 (accessed 2021-01-27).
- (26) Seibert, J.; Luxenburger-Becker, H.; Marquardt, M.; Lang, V.; Perels, F.; Kay, C. W. M.; Huwer, J. Multitouch Experiment Instructions for a Better Learning Outcome in Chemistry Education. *World Journal of Chemical Education* 2020, 8 (1), 1–8.
- (27) Hempelmann, R. Schülerlabors and Sustainability. In *Science Education Research and Education for Sustainable Development*; Eilks, I., Markic, S., Ralle, B., Eds.; Shaker Verlag: Aachen, 2014; pp 189–198.
- (28) Lamba, R. S. Inquiry-Based Student-Centered Instruction. In *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends*; García-Martínez, J., Serrano-Torregrosa, E., Eds.; Wiley, 2015; pp 301–317.
- (29) Neber, H.; Anton, M. A. Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht (Promoting pre-experimental epistemic activities in chemistry lessons). *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 2008, 22 (2), 143–150.
- (30) Deci, E. L.; Ryan, R. M. Overview of Self-Determination Theory: An Organismic Dialectical Perspective. In *Handbook of self-determination research*; University of Rochester Press, 2002; pp 3–33.
- (31) Deci, E. L.; Ryan, R. M. Intrinsic Motivation Inventory, 2003a, <http://selfdeterminationtheory.org/questionnaires/> (accessed 2021-01-27).
- (32) Deci, E. L.; Ryan, R. M. Basic Psychology Needs Scale, 2003b, <http://selfdeterminationtheory.org/questionnaires/> (accessed 2021-01-27).
- (33) Boekarts, M.; Cascallar, E. How far have we moved toward the integration of theory and practice in self-regulation? *Educational Psychology Review* 2006, 18 (3), 199–210.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Digitale Lernwerkzeuge reichern in der Chemie das Lernen in einer konkreten Unterrichtssituation an und fördern besonders motivationale sowie kognitive Prozesse beim Lernen. Ein typischer Vertreter eines solchen Lernwerkzeugs ist der Einsatz von selbsterstellten Erklärvideos. Hierbei erstellen die Schüler*innen selbst ein Video und werden somit zu Produzent*innen ihres eigenen Lernprodukts. Innerhalb dieses ca. dreiminütigen Videos sollen die Schüler*innen ein naturwissenschaftliches Experiment dokumentieren, dieses in einen relevanten Alltagskontext einordnen und abschließend mittels verschiedener digitaler Visualisierungstechniken auf Teilchenebene erklären. Aus fach- bzw. fachdidaktischer Sicht eignet sich diese Methode sehr gut zur Erklärung von Experimenten, bei der die Dynamik von Teilchen eine tragende Rolle spielt. Aus fach-mediendidaktischer Sicht fördert diese Methode den digitalen sowie den fachlichen Kompetenzerwerb von Schüler*innen im Unterricht, indem beispielsweise valide Internetquellen identifiziert werden müssen und verschiedene Apps zur Erstellung der Videos korrekt bedient und eingesetzt, um eine fachlich richtige Erklärung zu liefern. So werden durch die Methode auch anwendungsbezogene Kompetenzen gefördert, indem beispielsweise die Anwendung StopMotion zur Videoproduktion für die Visualisierung der Teilchenprozesse von den Schüler*innen verwendet wird. Aus bildungswissenschaftlicher Sicht bringen die von Schüler*innen erstellten Erklärvideos mehrere Vorteile mit sich. Durch diese schüler*innenzentrierte Methode wird u.a. das Selbstregulierte Lernen in seinen Einzelkomponenten (Kognition, Motivation und Metakognition) gefördert. Zudem vertauscht sich die Rolle der Schüler*innen sowie der Lehrer*innen, wodurch eine neue Art des individuellen Lernens im Chemieunterricht erreicht wird.

Eine weitere Möglichkeit, digitale Lehr-Lernszenarien im Chemieunterricht als Lernwerkzeug einzusetzen, sind Augmented Reality (AR) Anwendungen. AR beschreibt eine Technologie, die in Echtzeit reale und virtuelle Inhalte in allen drei Dimensionen aneinander ausrichtet. Hierbei ist aus fach-mediendidaktischer Sicht die Interaktion in Echtzeit ein ausschlaggebender Faktor für den Mehrwert im Chemieunterricht. Aus fachdidaktischer Sicht ergeben sich in Bezug auf AR u.a. zwei große Potentiale für das Lehren und Lernen. Einerseits können 'nicht-sichtbare' Prozesse auf Teilchenebene 'sichtbar' gemacht werden. Hierbei kann AR beispielsweise eine

interaktive Labor-Rallye mit digitalen Zusatzinformationen anreichern, Experimentalaufbauten mit digitalen Beschriftungen und Animationen der Teilchenebene erweitern oder einen konventionellen Lithium-Ionen-Akku auf makroskopischer, submikroskopischer und symbolischer Darstellungsebene zugänglich und dadurch transparent machen. Andererseits eröffnet AR durch digital angereicherte differenzierte Hilfestellungen die Chance für einen differenzierten und individuellen Lehr-Lern-Prozess im Fach Chemie. Zur Umsetzung können analoge Arbeitsblätter durch die Augmentation von digitalen Hilfestellungen sowie Differenzierungsaufgaben angereichert werden. Hierbei ist aus bildungswissenschaftlicher Sicht die variable Nutzung dieser Zusatzinformationen bei der Förderung des Selbstregulierten Lernens hilfreich. Schüler*innen können entsprechende Informationen „on demand“ abrufen bzw. profitieren aus lernpsychologischer Sicht von der damit erzeugten Overlay-Attention (Verortung der Information an der benötigten Stelle) sowie der Vermeidung von Split-Attention (Verortung der Information an zwei räumlich getrennten Stellen), wie sie bei der Verwendung analoger, separater Hilfekarten entstünde.

Das Experiment als zentrales Element der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht bietet viele Schnittstellen zur digitalen Anreicherung des Lehr-Lernprozesses. So können beispielsweise digitale Lernbegleiter den Erkenntnisgewinnprozess unterstützen, indem sie das Lernen aus fach-mediendidaktischer Sicht anreichern sowie über einen längeren Zeitraum digital begleiten und somit Lernorte miteinander vernetzen und Fächergrenzen durchbrechen. Typische Vertreter solcher Lernbegleiter sind Multitouch Learning Books (MLB) und Multitouch Experiment Instructions (MEI). Hierbei handelt es sich jeweils um ein interaktives eBook, welches modular und non-linear aufgebaut ist. MLBs begleiten mindestens eine Unterrichtssequenz von mehreren Stunden und bieten beispielsweise eine digitale Möglichkeit, den formalen Lernort Schule mit dem non-formalen Lernort Schülerlabor curricular zu verknüpfen. MEIs richten sich explizit nach einem zu behandelnden Experiment, welches einerseits alltagsrelevant vermittelt und andererseits mit der Methode des Forschenden Lernens beim Experimentieren umgesetzt werden soll. Innerhalb der Dissertation konnte festgestellt werden, dass der Einsatz einer MEI beim Forschenden Experimentieren durch die Passung des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns zu den Phasen des Selbstregulierten

Lernens nach Zimmerman (2000) ideal zur Förderung des SRL eingesetzt werden kann. Hierbei wurde einerseits der Einsatz einer MEI als solche auf das Potential zur Förderung hin untersucht sowie der integrierte Einsatz eines Selbstregulationstrainings innerhalb einer MEI. In beiden Fällen konnte festgestellt werden, dass das digitale, interaktive eBook in Form einer MEI die Selbstregulation von Schüler*innen signifikant fördert.

Durch den multiperspektivistischen Ansatz dieser Dissertation konnte gezeigt werden, dass die Betrachtung unterschiedlicher Expertisen innerhalb eines Anwendungsszenarios gewinnbringend beim Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht einerseits für den Kompetenzerwerb von Lehrer*innen und Schüler*innen und andererseits aus lernpsychologischer Sicht (hier in Form der Selbstregulation) für Schüler*innen förderlich ist.

Auf Grundlage dieser multiperspektivischen Herangehensweise konnten verschiedene digital angereicherte Lehr-Lernszenarien unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven entwickelt und evaluiert werden. Deshalb soll diese Arbeit im Speziellen dazu dienen, grundlegende Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien für den Chemieunterricht vorzustellen und diese Vielzahl hinsichtlich ihrer Potentiale aus fachdidaktischer und lernpsychologischer Sicht einander gegenüberzustellen. Die Arbeit bietet zudem eine sehr gute Grundlage dafür, weitere digitale Anwendungen für den Unterricht zu entwickeln und bietet somit die Möglichkeit konzeptionell bereits bei ersten Überlegungen einen multiperspektivistischen Zugang zu ermöglichen. Daraus können weitere grundlegende Modelle resultieren, die auch in der Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften etabliert werden können und somit das Lehren und Lernen mit digitalen Medien im Chemieunterricht anreichern. Jedes einzelne Lernsetting, das in dieser Arbeit beschrieben wurde, bietet eine gute Grundlage weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit einerseits aus bildungswissenschaftlicher Sicht und andererseits aus fachdidaktischer Sicht anzustoßen. Hierbei zeigt sich zudem die Limitation der Arbeit. Durch die Vielzahl der entwickelten Lehr-Lerneinheiten konnte lediglich ein Überblick über die imens großen Potentiale solcher digitalen Lernwerkzeuge und Lernbegleiter für den Chemieunterricht gegeben werden. Allerdings kann abschließend gesagt werden, dass der Einsatz digitaler Lernwerkzeuge in Form von Augmented Reality und Erklärvideos sowie von Lernbegleitern in Form von Multitouch Learning Books und Multitouch Experiment Instructions zur Verbesserung

des Unterrichts im Fach Chemie aus fachdidaktischer Sicht und zusätzlich aus bildungswissenschaftlicher Sicht zu einem verbesserten selbstregulierten Lernen bei Schüler*innen führt.

4. Literatur

- Abels, S. (2013). Differenzierung und Individualisierung. Individuelle Lernvoraussetzungen als Orientierung für die Unterrichtsplanung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 135, 31-35.
- Abels, S. (2015). Forschendes Lernen im Chemieunterricht einer inklusiven Schule. In Bernholt, S. (Hrsg.). *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Kiel: IPN, 778.
- Abels, S., & Markic, S. (2013). Umgang mit Vielfalt - neue Perspektiven für den Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 135(3), 2 – 7.
- Adesokan, A. & Reiners, C. (2015). Lehr- und Lernmaterialien zur Einführung naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen bei Schülerinnen und Schülern mit Hörbeeinträchtigung. Ein Beitrag zur Entwicklung eines inklusiven Chemieunterrichts. *CHEMKON*, S. 162–172.
- Affeldt, F., Meinhard, D. & Eilks, I. (2018). The Use of Comics in Experimental Instructions in a Non - formal Chemistry Learning Context. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6 (1), 93-104.
- Affeldt, F., Weitz, K., Siol, A., Markic, S. & Eilks, I. (2015). A non-formal student laboratory as a place for innovation in education for sustainability for all students. *Educational Sciences*, (5), 238-254.
- AG Medien & Digitalisierung der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2019). *Sachunterricht und Digitalisierung* (Preprint). Abgerufen am 31.01.2020 von: <https://tinyurl.com/sr5r7c4>
- Akaygun, S. & Jones, L. L. (2013). Animation or simulation: Investigating the importance of interactivity for learning solubility equilibria. In *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*; ACS Symposium Series Vol. 1142; Suits, J. P., Sanger, M. J., Eds.; American Chemical Society, 127–159.
- Amany Annaggar, A. & Tiemann, R., (2017). Video Game Based Gamification Assessment of Problem – solving Competence in Chemistry Education. *ECGBL*
- Aufenanger, S. (2014). Bericht zur Wissenschaftlichen Begleitforschung des Projekts „Tablet-PCs im Unterrichtseinsatz“ in vier Wiesbadener Schulen im Auftrag des Schulamts der Stadt Wiesbaden. Wiesbaden/ Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

http://pads.wiesan.de/wp-content/uploads/aufenanger_bericht_begleitforschung_projekt_ipads_wiesbaden_0314.pdf.

- Aufenanger, S. (2017). Zum Stand der Forschung zum Tableteinsatz in Schule und Unterricht aus nationaler und internationaler Sicht. In J. Bastian & S. Aufenanger (Eds.), Tablets in Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und –perspektiven zum Einsatz digitaler Medien (pp. 119-138). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Azevedo, R., Moos, D. C., Greene, J. A., Winters, F. I. & Cromley, J. G. (2008). Why Is Externally-Facilitated Regulated Learning More Effective than Self-Regulated Learning with Hypermedia? Educational Technology Research and Development, 56(1), 45–72.
<https://doi.org/10.1007/s11423-007-9067-0>.
- Azevedo, R.; Cromley, J. G. (2004). Does Training on Self-Regulated Learning Facilitate Students' Learning with Hypermedia?, Journal of Educational Psychology, 96(3), 523–535.
- Azevedo, R.; Moos, D. C. (2008). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge, Contemporary Educational Psychology, 33, 270–298.
- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4, 355-385.
- Bach, E. (1980). Ein chemischer Index zur Überwachung der Wasserqualität von Fließgewässern.
- Bail, F.T., Zhang S., Tachivama, G.T. (2008). Effects of a self-regulated learning course on the academic performance and graduation rate of college students in an academic support program, Journal of College Reading and Learning, 39(1), 54-73.
- Ballhäuser H., Lösch T., Winter C. & Schmitz, B., (2016), Applying a web-based training to foster self-regulated learning – Effects of an intervention for large numbers of participants, Internet and Higher Education, 32, 87-100.
- Bannert, M. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Through Prompts. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 23 (2). Hans Huber: Bern. 139-145.
- Bannert, M. & Reimann, P. (2012). Promoting self-regulated hypermedia learning through prompts. Instr Sci, 40, 193-211. Springer. DOI 10.1007/s11251-011-9167-4
- Baumert, J., Stanat, P. & Demmrich, A. (2001). PISA 2000: Untersuchungsgegenstand, theoretische Grundlagen und Durchführung der Studie. In: J. Baumert et al.(eds), PISA 2000. VS Verlag für Sozialwissenschaften. 15-17.

- Bell R., Semtana L. & Binns I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction. Arlington: National Science Teachers Association
- Bellhäuser, H., Lösch, T, Winter, C. & Schmitz, B. (2016). Applying a Web-Based Training to Foster Self-Regulated Learning — Effects of an Intervention for Large Numbers of Participants. *The Internet and Higher Education* 31, 87–100.
- Bembenuitty, H. (2011). New directions for self-regulation of learning in postsecondary education, *New Directions for Teaching and Learning*, 126, 117-124.
- Benedict, L. & Pence, H. (2012). Teaching Chemistry Using Student- Created Videos and Photo Blogs Accessed with Smartphones and Two-Dimensional Barcodes. *J. Chem. Educ.*, 89 (4), 492–496.
- Benick, M. Dörrenbächer-Ulrich, L. & Perels, F. (2018). Prozessuale Evaluation differentieller Effekte eines Selbstregulationstrainings gegen Ende der Grundschulzeit. *Unterrichtswissenschaft*, 46, 379-407. <https://doi.org/10.1007/s42010-018-0031-y>
- Benick, M., Dignath, C., Weißenfels, M., Bellhäuser, H. & Perels, F. (2019). Interventionen zur Förderung selbstregulierten Lernens. In H. Gaspard, U. Trautwein & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Diagnostik und Förderung von Motivation und Volition* (S. 177-192). Hogrefe.
- Bernacki, M. L., Aguilar, A. C. & Byrnes, J. P. (2011) Chapter 1: Self-regulated Learning and Technology-Enhanced Learning Environments: An Opportunity-Propensity Analysis. In: *Fostering Self-Regulated Learning through ICT*. Information Science Reference: New York, 1-19
- Bloom B. (1999). Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich (Taxonomy of learning goals for cognition). Weinheim, Basel: Beltz Verlag Boekaerts M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research* 31. 445-457
- Boekaerts, M & Cascallar, E. (2006). How far have we moved towards the integration of theory and practice in self-regulation?. *Educational Psychology Review* 18, 199-210. Springer Science + Business Media. DOI 10.1007/s10648-006-9013-4
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research* 31, 445-457. Elsevier Science.
- Bohrmann-Linde, C. & Kleefeld, S. (2019). Can You See the Heat? Using a Thermal Imaging Camera in the Chemistry Classroom. *World Journal of Chemical Education*, 7 (2), 179–184.

- Bönsch, M. (2009). Erfolgreiches Lernen durch Differenzierung im Unterricht. Braunschweig: Westermann.
- Brandt, A. , Möller, J. & Kohse-Höinghaus, K. (2008). Was bewirken außerschulische Experimentierlabors? Ein Kontrollgruppenexperiment mit Follow up-Erhebung zu Effekten auf Selbstkonzept und Interesse. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 22(1), 5-12.
- Bresges, A., Beckmann, R. Schmook, J., Quast, A. Schunke- Gallay, J. Weber, J. & Firmenich, D. (2014). Tablets beim physikalischen Experimentieren – zur Unterstützung des Kompetenzaufbaus. Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule, 63(5), 11-17.
- Brüggemann, M., Welling, S. & Breiter, A. (2014). Gelingende Inklusion mit Medienintegration. Computer + Unterricht 94, S. 6 – 9.
- Bundesgesetzblatt Teil II 2008, Nr. 35. Gesetz zu dem Übereinkommen der Vereinten Nationen (vom 31.12.2008). Online unter <https://t1p.de/xiiz> [09.12.2019]
- Burmeister, M., Jokmin, S. & Eilks, I. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistry im Chemieunterricht. ChemKon, 18(3), 123-128.
- Burmeister, M., Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and Chemistry Education. Chem. Educ. Res. Pract., 13, 59–68.
- Christensen, B., Christensen, S. & Missong, M. (2019). Statistik klipp & klar. Springer Gabler Wiesbaden. 183.
- Day, E., L. & Pienta, N. J. (2020). Transitioning to eBooks: Using Interaction Theory as a Lens to Characterize General Chemistry Students' Use of Course Resources, Journal of Chemical Education, 97(1), 97-105. DOI:10.1021/acs.jchemed.9b00011
- Deci E. L. & Ryan R. M. (2002). Overview of Self-Determination Theory: An Organismic Dialectical Perspective. In Handbook of self-determination research. University of Rochester Press, 3-33.
- Degener, T. (2016). Völkerrechtliche Grundlagen und Inhalt der UN BRK. In T. Degener, K. Eberl, S. Graumann, O. Maas & G. K. Schäfer (Eds.), Menschenrecht Inklusion (pp. 11-51). Göttingen et al.: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Deters, K. (2005). Student Opinions Regarding Inquiry-Based Labs. Journal of Chemical Education 82(8), 1178-1180.

- Deutsches PISA-Konsortium. (2001). PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Leske + Budrich: Opladen. 271-297.
- Dibowski, S. (2019). <https://www.familienbande24.de/wohin/kategorie/Escape+Room/> [Letzter Zugriff: 05.03.2021]
- Dignath C., Büttner G. & Langfeldt H. (2008). How can primary school students learn SRL strategies most effectively? A meta-analysis on self-regulation training programmes. Educational Research Review 3(2), 101-129, DOI: 10.1016/j.edurev.2008.02.003
- Dignath, C., Gerhard B. & Langfeldt, H.-P. (2008). How Can Primary School Students Learn Self-Regulated Learning Strategies Most Effectively?: A Meta-Analysis on Self-Regulation Training Programmes. Educational Research Review 3, (2), 101–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2008.02.003>.
- Dignath, C., Fabriz, S. & Büttner, G. (2015). Fostering Self-Regulated Learning Among Students by Means of an Electronic Learning Diary: A Training Experiment. Journal of Cognitive Education and Psychology. 14. 10.1891/1945-8959.14.1.77. Educational Research Review, 11, 1-26. doi: 10.1016/j.edurev.2013.11.002.
- Donker, A. S., de Boer, H., Kostons, D., Dignath-van Ewijk, C. C., & van der Werf, M. P. C. (2014). Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: A meta-analysis.
- Dörrenbächer L. & Perels F. (2016). More is more? Evaluation of interventions to foster self-regulated learning in college. International Journal of Educational Research 78:50-65, DOI: 10.1016/j.ijer.2016.05.010
- Dresel, M. & Lämmle, L. (2011). Motivation, Selbstregulation und Leistungsexzellenz. LIT Verlag: Münster.
- Eilks, I & Krause, M. (2015). Neue Wege zum Teilchenkonzept 2.0. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 64(3), 34-37.
- Eilks, I., Krilla, B., Flintjer, B., Möllencamp, H. & Wagner, W. (2004). Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute - Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht. Chemkon, 11(3), 121-126.
- Eilks, I., Möllering, J., Leerhoff, G. & Ralle, B. (2001). Teilchenmodell oder Teilchenkonzept? Oder: Rastertunnelmikroskopie im Anfangsunterricht. Chemkon, 8(2), 81-85.

- Eilks, I., Pietzner, V., & Witteck, T. (2010). Multimedia aus dem Internet - Motivierend, aber immer auch lernförderlich? Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 59(4), 31-24.
- Eilks, I., Prins, G. T. & Lazarowitz, R. (2013). How to organise the chemistry classroom in a student-active mode. In I. Eilks & A. Hofstein (Eds.), Teaching Chemistry - A Studybook. A Practical Guide and Textbook for Student Teachers, Teacher Trainees and Teachers, 183-212. Rotterdam, Boston, Taipei: Sense Publishers.
- Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Dissertation. Kiel: Universität.
- European Commission. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Liste kritischer Rohstoffe für die EU, 2017. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EN/COM-2017-490-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF> (accessed 2020-08-21).
- Francia, G. (2013). The impacts of individualization on equity educational policies. New Approaches in Educational Research, 2(1), 17-22.
- Franco, J. & Provencher, B. A. (2019). Using a Multitouch Book to Enhance the Student Experience in Organic Chemistry, Journal of Chemical Education, 96(3), 586-592. DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00703
- Friedrich H. & Mandl H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens (Analysis and promotion of self-regulated learning). In Weinert F. & Mandl H. (Hrsg.), Psychologie der Erwachsenenbildung - Enzyklopädie der Psychologie. Göttingen: Hogrefe Verlag
- Gabriel, R., Gersch, M. & Weber P. (2008). Serious Games als Instrument zur Gestaltung und Individualisierung von Lernprozessen. 268- 276.
- García-Martínez, J. & Serrano-Torregrose, E. (2015). Chemistry Education. Best Practices, Opportunities and Trends. Wiley: Weinheim.
- Garner N., Huwer J., Siol A., Hempelmann R. & Eilks I. (2015). On the Development of Non-formal Learning Environments for Secondary School Students Focusing on Sustainability and Green Chemistry. In Vânia Zuin (Hrsg.), Worldwide Trends in Green Chemistry Education Royal Society of Chemistry.

- Garner, N., Hayes, S. & Eilks, I. (2014). Linking formal and non-formal learning in science education – a reflection from two cases in Ireland and Germany. *Journal of Education*, 2(2), 10–31.
- Garner, N., Hayes, S. M. & Eilks, I. (2014). Linking Formal and Non-Formal Learning in Science Education – A Reflection from two cases in Ireland and Germany. *Sisyphus Journal of Education* 2 (2), 10-31.
- Garner, N., Huwer, J., Siol, A., Hempelmann, R. & Eilks, I. (2015). On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry. In *Worldwide trends in green chemistry education*; Gomes Zuin, V., Mammino, L, Eds; RSC: Cambridge, 76-92.
- Garner, N., Siol, A., Huwer, J., Hempelmann, R. & Eilks, I. (2016). Implementing Innovations in Chemistry and Sustainability Education in a Non-Formal Student Laboratory Context. *LUMAT*, 3 (4), 449–461.
- Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD). (2018). Fachliche Bildung in der digitalen Welt – Positionspapier der Gesellschaft für Fachdidaktik.
- Gesellschaft für Informatik (GI) (2016). Dagstuhl-Erklärung. Bildung in der digitalen vernetzten Welt. Abgerufen am 25.01.2020 von https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung_2016-03-23.pdf
- Girwidz, R. & Hoyer, C. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien – Leitlinien zum Lehren mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. Joachim Herz Stiftung Verlag. 19-21.
- Girwidz, R. & Hoyer, C. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz von digitalen Medien - Leitlinien zum Lernen mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Greitemann, L. & Melle, I. (2020). Transferring and Optimizing a Laptop- based Learning Environment for the Use on iPads. *World J. Chem. Educ.*, 8 (1), 40–46.
- Groß, K. (2017). Individuelle Förderung im Chemieunterricht. In: Reiners, C. *Chemie vermitteln-Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen*, 1. Auflage, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag.

- Grundschulverband (GSV). (2018). Digitale Mündigkeit beginnt in der Grundschule! Stellungnahme des Grundschulverbands zum „DigitalPakt Schule“ zum KMK- Beschluss „Bildung in der digitalen Welt“. Abgerufen am 25.02.2021 von: <https://tinyurl.com/yajoklike>
- Grzega, J. & Schöner, M. (2008). The Didactic Model LdL (Lernen durch Lehren) as a Way of Preparing Students for Communication in a Knowledge Society. *Journal of Education for Teaching*, 34 (3), 167–175.
- Guderian, P. (2007). Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte - Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik. Dissertation. Berlin.
- Gulacar, O., Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Bringing Chemistry Learning Back to Life and Society. In *Building Bridges across Disciplines for Transformative Education and a Sustainable Future*; Eilks, I., Markic, S., Ralle, B., Eds.; Shaker: Aachen, pp 49–60.
- Hasebrook, J., & Brünken, R. (2010). Aptitude-Treatment-Interaktion. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz. Holbrook, J. (2009). Meeting challenges to sustainable development through science and technology education. *Science Education International*, 20, 44–59.
- Hasselborn, M. & Gold, A. (2017). *Pädagogische Psychologie- erfolgreiches Lernen und Lehren*, 4. Auflage, Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2012). *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren* Stuttgart: Kohlhammer.
- Hattie, J., Beywl, W. & Zierer, K. (2013). *Lernen sichtbar machen*. (Überarb. deutschsprachige Ausg.). Schneider Verlag: Hohengehren.
- Hattie, J. & Yates, G. (2015). *Lernen sichtbar machen aus psychologischer Perspektive*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., Zehren, W. & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 66(6), 324–330.
- Heckhausen, J. & Heckhausen, H. (2010). *Motivation und Handeln* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag

- Hempelmann, R. & Haupt, O. (2015). Außerschulische MINT-Lernorte und ihre Rolle im Bildungssystem. In I. Eilks, A. Siol & R. Hempelmann (Eds.), Nachhaltigkeit und Chemie in Schule und Schülerlabor Köln: Aulis - in Vorbereitung.
- Hempelmann, R. & Haupt, O.J. (2014). Vielfalt und Kategorien der Schülerlabore. In P. Bellendorf, A. Bittner, V. Exner, F. Gruber, U. Peters, T. Pyhel, U. (Ed.), Nachhaltigkeit gestalten – Neue Trends in der Umweltkommunikation. (pp. 306-312) München: OEKOM-Verlag.
- Hempelmann, R. (2014). Schülerlabors and Sustainability. In Science education research and Education for Sustainable Development; Eilks, I., Markic, S., Ralle, B., Eds; Shaker Verlag: Aachen, 189-198.
- Hense, J, Mandl, H. & Gräsel, C. (2001). Problemorientiertes Lernen – Warum der Unterricht mehr sein muss als Unterricht mit neuen Medien. Computer und Unterricht, 44, 6-11.
- Herbig M. & Wagler J. (2018). Qualitative Anorganische Analyse - Begleitbuch für das Arbeiten mit Trennungsgang. Berlin: Springer Spektrum
- Herrington, D. G., Sweeder, R. D. & Vanden-Plas, J. R. (2017). Students' Independent Use of Screencasts and Simulations to Construct Understanding of Solubility Concepts. J. Sci. Educ. Technol., 24, 1–13.
- Hilfert-Rüppell D. & Sieve B. (2017). Entschleunigung biologischer und chemischer Abläufe durch Zeitlupenaufnahmen. In Meßinger-Koppelt J., Schanze S. & Groß J. (Hrsg.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen
- Hilton, A. (2010). Digital technologies and multimodal communication in the chemistry classroom PhD Thesis, School of Education, The University of Queensland.
- Hofstein, A. & Rosenfeld, S. (1996). Bridging the gap between formal and informal science learning. Studies in Science Education, 28, 87-112.
- Hofstein, A., Shore, R. & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory- a case study. International Journal of Science Education, 26, 47-62.
- Hopkins, C. & McKeown, R. (2002). Education for sustainable development: An international perspective. In D. Tilbury, R. B. Stevenson, J. Fein, & D. Schreuder (Eds.), Environmental education for sustainability: Responding to the global challenge. Gland: IUCN Commission on Education and Communication.

- Hugerat, M., Mamlok-Naaman, R., Eilks, I. & Hofstein, A. (2015). Professional Development of Chemistry Teachers for Relevant Chemistry Education. In Relevant Chemistry Education – From Theory to Practice; Eilks, I., Hofstein, A., Eds.; Sense: Rotterdam, Netherlands, 369–386.
- Huwer, J. (2015). Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor – Forschendes Experimentieren im Kontext einer naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung. Saarbrücken – Dissertation.
- Huwer, J. & Brünken, J. (2018). Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. Computer + Unterricht, 110 (30), 7-10.
- Huwer, J. & Eilks, I. (2017). Multitouch Learning Books beim forschenden Experimentieren (Multitouch Learning Books for inquiry-based learning). In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Eds.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer, Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag. 81-94.
- Huwer, J. & Eilks, I. (2021). Was uns die Digitalisierung bringt. Best Practices und Tipps von Expert:innen für Schülerforschungszentren - Rahmenbedingungen. Kooperationen. Qualitätskriterien. 37-39.
- Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXplainistry - Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 160, 42-46.
- Huwer, J. & Brünken, R. (2018). Naturwissenschaften auf neuen Wegen - Individualisierung mit Tablets im Chemieunterricht. Computer + Unterricht, 110(3), 7-10.
- Huwer, J., Bock, A. & Seibert, J. (2018). The School Book 4.0: The Multitouch Learning Book as a Learning Companion, American Journal of Educational Research, 6, 763-772.
- Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dörrenbächer-Ulrich, L. & Perels, F. (2018). Re-Experiencing chemistry with Augmented Reality: New possibilities for individual support. World Journal of Chemical Education, 6(5), 212 – 217.
- Huwer, J., Seibert, J., & Brünken, J. (2018) Multitouch Learning Books als Versuchsanleitungen beim Forschenden Experimentieren am Beispiel von Süßungsmitteln. Der mathematische und naturwissenschaftlicher Unterricht, 3, 181-186.
- Huwer, J., Lauer, L., Dörrenbächer-Ulrich, L., Thyssen, C. & Perels, R: Chemie neu erleben mit Augmented Reality. MNU (5/2019), 420-427.

- Huwer, J. & Seibert, J. (2018). A New Way To Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory. *World Journal of Chemical Education*, 6 (3), 124–128.
- ICILS 2018 (2018). Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Münster: Waxmann Verlag
- Institut Dr. Flad. Chemischer Index und Gewässergüte.
Die Bestimmung eines Chemischen Index zur Ermittlung der Gewässergüteklasse von Fließgewässern. Abgerufen am 25.01.2021 von https://www.chf.de/eduthek/chemischer-index/Chemischer_Index.pdf
- Jacob, L., Benick, M., Dörrenbächer, S. & Perels, F. (2020). Promoting Self-regulated Learning in Preschoolers. *Journal of Childhood, Education & Society*, 1, 2, 116- 140. DOI: 10.37291/2717638X.20201237
- Johnson, D.W. & Johnson, R.T. (2014). Cooperative Learning in 21st Century. *Anales de psicología*, 30(3), 841-851.
- Johnstone, A. (1982). Macro- and Micro-Chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Jones, L. (2013). How Multimedia-Based Learning and Molecular Visualization Change the Landscape of Chemical Education Research. *J. Chem. Educ.*, 90, 1571–1576.
- Jordan, J., Box, M., Eguren, K., Parker, T., Saraldi-Gallardo, V., Wolfe, M. & Gallardo-Williams, M. (2016). Effectiveness of Student-Generated Video as a Teaching Tool for an Instrumental Technique in the Organic Chemistry Laboratory. *J. Chem. Educ.*, 93, 141–145.
- Justus, X. & Rost, D. H. (Hrsg.). (2017). Selbstregulation im virtuellen Studium. Volitionale Regulation, Lernzeit und Lernstrategien in Online-Seminaren. *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie*. Waxmann: Münster, New York.
- Kallweit, I. & Melle, I. (2017). Selbsteinschätzungsbögen als Instrument zur individuellen Förderung im Chemieunterricht 23. Springer: Berlin, Heidelberg. 143-163.
- Kalyuga, S. (2010). Schema Acquisition and Sources of Cognitive Load. In: *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press: New York. 48-62.
- Kapp, K. M. (2012). The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.

- Kelley, H.H. (1967). Attribution theory in social psychology. In D. Levine (Ed.), Nebraska symposium on motivation, 15, 192-238).
- Kennah, M. R. (2016). The Use of ICT in the Teaching and Learning Process in Secondary Schools. Master's Thesis, Department of Education Institute of Educational Leadership University of Jakarta. Abgerufen am 15.05.2021 von <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/51929/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201611204685.pdf>
- Kieserling M. & Melle I. (2019). An experimental digital learning environment with universal accessibility" *Chemistry Teacher International*, 1(2), <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0024>
- Kitsantas, A. (2002). Test preparation and performance: a self-regulatory analysis. *Journal of Experimental Education*, 70(2), 101-113.
- Klieme, E., Artelt, C. & Stanat, P. (2014). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte
- KMK Kultusminister Konferenz. (2004). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss vom 16.12.2016. KMK Berlin.
- KMK Kultusminister Konferenz. (2016). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Beschluss vom 08.12.2016. KMK Berlin.
- KMK Kultusminister Konferenz. (2018). Bildung in der digitalen Welt. Gemeinsame Erklärung der Kultusministerkonferenz und des Verbandes Bildungsmedien e.V. zur Zukunft der Bildungsmedien. Beschluss vom 14.06.2018. KMK Berlin.
- KMK Kultusminister Konferenz. (2019). Bildung in der digitalen Welt. Empfehlungen zur Digitalisierung in der Hochschullehre. Beschluss vom 14.03.2019. KMK Berlin.
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)?. *Journal of Education* 193 (3), 13-19.
- Koestner, R. & Loiser, G. F. (2002). Distinguishing Three Ways of Being Internally Motivated: A Closer Look at Introjection, Identification, and Intrinsic Motivation. In: D. L. Deci & R. M. Ryan, *Handbook of Self-Determination Research*. University of Rochester Press: Rochester. 102-121.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2000: Memorandum über Lebenslanges Lernen, SEK (2000) 1832, Brüssel

- Kordes, R. (2015). Elektronische Schulbücher: Potenziale für den Einsatz im Unterricht. Hamburg: Diplomica.
- Krause, M. & Eilks, I. (2014). Tablet-Computer als Unterrichtswerkzeug für Lehrkräfte – Allgemeine Hinweise und Beispiele aus dem Chemieunterricht. In: J. Maxton- Küchenmeister & J. Messinger-Koppelt (Hg.): Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht, Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag, 64-69.
- Krause, M. & Eilks, I. (2017). Learning about the Nomenclature of Organic Compounds by Creating Stop-Motion Videos. Chemistry in Action, 109, 36–38.
- Kuhn J., Ropohl M & Groß J. (2017). Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge. In Meßinger-Koppelt J., Schanze S. & Groß J. (Hrsg.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen Unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag
- Kulgemeyer, C. & Peters, C. (2016). Exploring the Explaining Quality of Physics Online Explanatory Videos. Eur. J. Phys., 37, 1–14.
- Lamba, R. S. (2015). Inquiry-Based Student-Centered Instruction. In: J. García-Martínez & E. Serrano-Torregrosa, Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends. Wiley. 301-317.
- Landmann M., Perels F., Otto B. & Schmitz B. (2009). Selbstregulation (Self-regulation). In Wild E. & Möller J. (Hrsg.), Pädagogische Psychologie. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, DOI 10.1007/978-3-540-88573-3_3
- Landmann, M. & Schmitz, B. (2007). Welche Rolle spielt SelfMonitoring bei der Selbstregulation und wie kann man mit Hilfe von Tagebüchern die Selbstregulation fördern? In Gläser Zikuda M. & Hascher T. (Hrsg.), Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen - Lerntagebuch & Portfolio in Forschung und Praxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt Verlag.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2015). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), Pädagogische Psychologie, 45–65. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2_3.
- Landmann, M. & Schmitz, B. (2007). Die Kombination von Trainings mit standardisierten Tagebüchern: Angeleitete Selbstbeobachtung als Möglichkeit der Unterstützung von Trainingsmaßnahmen. In: Selbstregulation erfolgreich fördern. Kohlhammer: Stuttgart.

- Leonhard, T. & Schallies, M. (2007). Lehren und Lernen im Schülerlabor (2) - Coaching zukünftiger Lehrkräfte. In D. Höttecke (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Beiträge zur Jahrestagung der GDGP in Bern 2006*, 27, 466-468. Berlin: LIT.
- Lim, K. Y. & Habig, S. (2020). Beyond observation and interaction: Augmented Reality through the lens of constructivism and constructionism. *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 609-610. <https://doi.org/10.1111/bjet.12908>
- Lorenz S. J., Kasang D. & Lohmann G. (2011). Globaler Wasserkreislauf und Klimaänderungen - eine Wechselbeziehung. In Lozán J., Graßl H., Hupfer P., Menzel L. & Schönwiese C. (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?* Hamburg: Universität Hamburg, Institut. für Hydrobiologie
- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D-A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *J. Chem Educ.*, 83 (1), 49-55.
- Markic, S. & Abels, S. (2016). *Science education towards inclusion*. New York: Nova Publishing.
- Markic, S., Eilks, I., di Fuccia, D. & Ralle, B. (2012). Heterogeneity and cultural diversity in science education and science education research, Aachen: Shaker, P. 239
- Markic, S., Wichmann, J., Affeldt, F., Siol, A. & Eilks, I. (2017). Promoting education for sustainability for all learners by non- formal chemistry laboratories. *Daruna*, 44, 44-53.
- Marks, P. & Eilks, I. (2009). Promoting Scientific Literacy Using a Sociocritical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching: Concept, Examples, Experiences. *International Journal of Environmental & Science Education* 4 (3), 231- 245.
- Maurer, C. (2016). Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. GDGP in Berlin 2015, Regensburg.
- Mayer R. (2005). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pertaining and modality principles. In Mayer R. (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. 2. ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2010). Techniques that Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In: Plass, J. L., Moreno, R. &

Brünken, R. (Eds.). Cognitive Load Theory. (pp. 131-152). New York: Cambridge University Press.

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018). JIM-Studie 2018 - Jugend, Information, Medien. Stuttgart: MPFS
- Meister, D. M. (2013). Vermittlung von Medienkompetenz in der Praxis für Kinder und Jugendliche. In Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (Ed.), Medienkompetenzförderung für Kinder und Jugendliche. Eine Bestandsaufnahme (pp. -6750).
- Metzger, S. (2010). "Kochrezept" oder experimentelle Methode? Eine Standortbestimmung von Schülerexperimenten unter dem Gesichtspunkt der Erkenntnisgewinnung. MNU, 63(1), 4-11.
- Miller S. (2009). Formative computer-based Assessments: The Potentials and Pitfalls of two formative computerbased Assessments uses in professional Learning Programs. Kingston: Queen's University
- Möllencamp H., Wolf G. & Bader H. (2002). Eine fächerverbindende multimediale Lernumgebung zum Thema HIV für das Fach Chemie. Chemie konkret - Forum für Unterricht und Didaktik. 9 (4). Weinheim.
- Moreno, R. & Park, B. (2010). Cognitive Load Theory: Historical Development and Relation to Other Theories. In: J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), Cognitive Load Theory. Cambridge University Press: New York. 9–22.
- Moss, D. C. & Azevedo, R. (2007). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. Contemporary Educational Psychology 33 (2008) 270-298. Elsevier.
- Münzer, S., Seufert, T. & Brünken, R. (2009). Learning from multimedia presentations: Facilitation function of animations and spatial abilities. Learning and Individual Differences, 19, 481–485.
- Neber, H. (1981). Entdeckendes Lernen Weinheim: Beltz.
- Neber, H. (1994). Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion. In K. Klauer (Ed.), Kognitives Training, 217-243. Göttingen: Hogrefe.
- Neber, H. (1999). Entdeckendes Lernen. In C. Perleth & A. Ziegler (Eds.), Pädagogische Psychologie (pp. 227-235). Berlin: Huber.

- Neber, H. & Anton, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 20(130), 143–150.
- Official Journal of the European Union. (2018). on key competences for lifelong learning Abgerufen am 18.05.2021 von https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.C_.2018.189.01.0001.01.ENG&toc=OJ%3AC%3A2018%3A189%3ATOC
- Otto B. (2007). SELVES - Schüler-, Eltern- und Lehrertrainings zur Vermittlung effektiver Selbstregulation. Berlin: Logos Verlag
- Otto B., Perels F. & Schmitz B. (2011). Selbstreguliertes Lernen. In Reinders H., Ditton H., Gräserl C. & Gniewosz B. (Hrsg.), Empirische Bildungsforschung. Wiesbaden: Springer VS
- Paradies, L. & Linser, H. J. (2010). Differenzieren im Unterricht (5. edition). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Parchmann, I. & Prenzel, A. (2003). Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 14(76), 15-19.
- Pawek, C. (2009). Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe. Kiel.
- Pawek, C. (2012). Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen. In D. Brovelli, K. Fuchs, R. Niederhäusern & A. Rempfler (Eds.), Kompetenzentwicklung an Außerschulischen Lernorten. Tagungsband zur 2. Tagung Außerschulische Lernorte der PHZ Luzern vom 24. September 2011 In Außerschulische Lernorte - Beiträge zur Didaktik. Münster/Wien/Zürich: LIT.
- Peraza-Garzón, J. F., Estrada-Lizárraga, R., Zaldívar- Colado, A., Mendoza-Zatarain, R., del Carmen Olivarría-González, M., Zaragoza González, J. N. & Cobián-Campos, J.A. (2013). Implementation of “iBooks Author” on the development of learning objects on blended learning education. INTED2013 Proceedings, pp. 6320-6325.
- Perels F., Dignath C. & Schmitz B. (2009). Is it possible to improve mathematical achievement by means of self-regulation strategies? Evaluation of an intervention in regular math classes. European Journal of Psychology of Education 24(1):17-31, DOI: 10.1007/BF03173472
- Perels F., Gürtler T. & Schmitz B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. Learning and Instruction Volume 15, Issue 2.

- Perels, F. Dörrenbächer-Ulrich, L., Landmann, M., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2020). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), Einführung in die Pädagogische Psychologie (3. Auflage). Springer.
- Perels, F. & Dörrenbächer, L. (2018) Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien (Self-regulated Learning and (technology based) educational Media), In Lernen mit Bildungstechnologien;Niegemann, H., Weinberger, A., Eds.; Springer Verlag: Berlin, Heidelberg,1-13.
- Petko, D. (2014). Einführung in die Mediendidaktik – Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Weinheim/ Basel: Beltz.
- Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H. J. (2002). Konkrete Fachdidaktik Chemie München: Oldenbourg.
- Pickl, C. (2004). Selbstregulation und Transfer: Entwicklung und Evaluation eines Trainingsprogramms zum selbstregulierten Lernen und die Analyse von Transferdeterminanten in Trainingskontexten. Psychologie - Forschung - aktuell 18.Weinheim: Beltz.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In Boekaerts M., Pintrich P., & Zeidner M. (Hrsg.), Handbook of Self-Regulation. San Diego, CA: Academic Press.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In Boekaerts M., Pintrich P., & Zeidner M. (Hrsg.), Handbook of Self-Regulation. San Diego, CA: Academic Press.
- Plass, J., Moreno, R. & Brünken, R. (2010). Cognitive Load Theory. New York, USA: Cambridge University Press.
- Probst, C. & Huwer, J. (2020). Self-Regulation and Training of Students with Learning Disabilities in an Inclusive Setting using ICT. World Journal of Chemical Education. (angenommen, im Druck)
- Probst, C., Seibert, J. & Huwer, J. (2020). Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion. To-Do Apps und Multitouch Experiment Instructions als Instrumente zur Förderung der Selbstregulation. Computer + Unterricht, 117, 14–18.
- Puentedura R. (2007). Transformation, Technology, and Education, Abgerufen am 18.01.2021 von <http://www.hippasus.com/rpweblog/archives/2013/04/16/SAMRGettingToTransformation.pdf>.

- Raaijmakers, S.F., Baars, M. & Schaap, L. (2018) Training self-regulated learning skills with video modeling examples: Do task-selection skills transfer?. *Instr Sci* 46, 273–290.
<https://doi.org/10.1007/s11251-017-9434-0>
- Rauch, F. (2015). Education for Sustainable Development and Chemistry Education. In *Worldwide Trends in Green Chemistry*; Zuin, V., Mammìno, L., Eds.; The Royal Society of Chemistry; 16–26.
- Reinmann-Rothmeier G. & Mandl H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In Knapp A. & Weidenmann B. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag
- Reinmann, G. (2015). Heterogenität und forschendes Lernen: Hochschuldidaktische Möglichkeiten und Grenzen - In: Klages, Benjamin [Hrsg.]; Bonillo, Marion [Hrsg.]; Reinders, Stefan [Hrsg.]; Bohmeyer, Axel [Hrsg.]: *Gestaltungsraum Hochschullehre. Potenziale nicht-traditionell Studierender nutzen*. Opladen ; Berlin ; Toronto : Budrich UniPress Ltd., 121-137.
- Renkl, A. (2000). Worked-Out Examples: Instructional Explanations Support; Learning by Self-Explanations. In: *Forschungsberichte des Psychologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. Research Report No, 139.
- Rheinberg F., Vollmeyer R. & Burns B. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66.
- Mayer, R. E. (1997) Multimedia learning: Are we asking the right questions, *Educational Psychologist*, 32:1, 1-19, DOI: 10.1207/s15326985ep3201_1
- Rohs M. (2010). Zur Neudimensionierung des Lernortes. *REPORT - Zeitschrift für Weiterbildungsforschung*, 33(2), 34-45.
- Rounds S., Wilde F. & Ritz F. (2013) Chapter A6 Field Measurements. Dissolved Oxygen. In *U.S. Geological Survey (Hrsg.), National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data*. Virginia, US: US Geological Survey
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000): Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), S.68.
- Salle (2015). *Selbstgesteuertes Lernen mit neuen Medien. Arbeitsverhalten und Argumentationsprozesse beim Lernen mit interaktiven und animierten Lösungsbeispielen*. Wiesbaden: Springer Spektrum

- Salomon G. (1979). Interaction of Media, Cognition, and Learning. San Francisco: Jossey-Bass Publishers
- Schaffer, S. & Pfeifer, P. (2011). Ziele von Schülerexperimenten. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 22(6), 10-13.
- Schallies, M. & Leonhard, T. (2007). Lehren und Lernen im Schülerlabor (1) - Ergebnisse der Begleitforschung (Schülersicht). In D. Höttecke (Ed.), Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Beiträge zur Jahrestagung der GDCh in Bern 2006 (Vol. 27, pp. 463-465). Berlin: LIT.
- Schiefele U. & Wild K. (1994). Lernstrategien im Studium. Ergebnisse zur Faktorstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie 15.
- Schmidt, I., Di Fuccia, D. & Ralle, B. (2011). Außerschulische Lernorte - Erwartungen, Erfahrungen und Wirkungen aus der Sicht von Lehrkräften und Schulleitungen. MNU, 64(6), 362-369.
- Schmitz, B. & Wiese, B. S. (2005). New perspectives for the evaluation of training sessions in self-regulated learning: Time-series analyses of diary data. Contemporary Education Psychology. 31, 64 – 96. Elsevier. doi:10.1016/j.cedpsych.2005.02.002
- Schwab K. (2016). Die Vierte Industrielle Revolution. München: Pantheon Verlag.
- Seibert, J., Heuser, K., Lang, V., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2021). Multitouch Experiment Instructions to promote self-regulation in inquiry-based learning in student laboratories. Journal of Chemical Education.
- Seibert, J., Kay, C.W.M. & Huwer, J. (2019). EXPlainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions, Journal of Chemical Education, 96(6), 2503–2509.
- Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., Kay, C. W. M. & Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education, World Journal of Chemical Education, 8(1), 1-8. doi: 10.12691/wjce-8-1-1.
- Seibert, J., Marquardt, M., Pinkle, S., Carbon, A., Lang, V., Heuser, K., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. W. M. (2020). Linking Learning Tools, Learning Companion and Experimental Tools in a Multitouch Learning Book, World Journal of Chemical Education., 8(1), 9-20.

- Seibert, J., Marquardt, M., Schmoll, I., & Huwer, J. (2019). Potenzial für "mehr Tiefe" - Augmented Reality im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Computer + Unterricht*, 114, 32-34.
- Seibert, J., Marquardt, M., Gebhard, M., Kay, C. W. M. & Huwer, J. (2020). Augmented Reality zur Visualisierung der Teilchenebene am Beispiel des Li-Ion Akkus. *Naturwiss. Unterricht*, 177/ 178, 86–89.
- Seufert, T., Zander, S. & Brünken, R. (2006). Multiple Darstellungen im Unterricht. In A. Fritz, R. Klupsch-Sahlmann, & G. Ricken (Eds.), *Hand- buch Kindheit und Schule* (pp. 209–218). Weinheim: Beltz.
- Sieve, B., Struckmeier, S., Taubert, C. & Netrobenko, C. (2015). Unsichtbares sichtbar machen. Chemische Phänomene anhand von Zeitlupen- aufnahmen verstehen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*(145), 23–27.
- Sitzmann T. & Ely K. (2011). A Meta-Analysis of Self-Regulated Learning in Work-Related Training and Educational Attainment: What We Know and Where We Need to Go. *Psychological Bulletin* 137(3):421-42, DOI: 10.1037/a0022777
- Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P (Hrsg.). (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht*. 1. Auflage. Aulis: München.
- Souvignier, E. & Mokhlesgerami, J. (2006). Using self-regulation as a framework for implementing instruction to foster reading comprehension. *Learning and Instruction* 16, 57-71. Elsevier. doi:10.1016/j.learninstruc.2005.12.006
- Souvignier, E., Streblow, L., Holodynski, M. & Schieferle, U. (2007). Textdetektive und LEKOLEMO – Ansätze zur Förderung von Lesekompetenz und Lesemotivation. In: *Selbstregulation erfolgreich fördern: praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen*. Stuttgart: Kohlhammer. 52-69.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I. (2013). The Meaning of “Relevance” in Science Education and Its Implications for the Science Curriculum. *Studies in Science Education*, 49, 1–34.
- Sweller, J. (2010). *Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances*. In: *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press: New York. 29–45.
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory* Springer. New York.
- Tasker, R. & Dalton, R. (2006). Visualization of the Molecular World Using Animations. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7 (2), 141–159.

- Thyssen, C. (2017). Augmented Reality (AR) in der naturwissenschaftlichen Unterrichtspraxis. In: Groß J., Schanze S., Messinger-Koppelt J. (Hrsg.): Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer. Joachim Herz Stiftung Verlag,
- Trautmann, M. & Wischer, B. (2007). Individuell fördern i m Unterricht. Was wissen wir über innere Differenzierung Pädagogik, 59(12), 44-48.
- Ulrich N. & Huwer, J. (2017). Digitale (Schul-)Bücher – Vom E- Book zum Multitouch Learning Book. In S. Schanze & J. Groß (Eds.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (pp.63-70). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Ulrich, N. & Schanze, S. (2015). Das e-Chem-Book. Einblicke in ein digitales Schulbuch. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 145, 44-48.
- Ulrich, N., Richter, J., Scheiter, K. & Schanze, S. (2014). Das digitale Schulbuch als Lernbegleiter. In J. Maxton- Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Eds.), Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (pp. 75-82). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Umweltbundesamt (2017). Verstecktes Wasser. Abgerufen am 27.09.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verstecktes-wasser>
- Vollmer, M. & Möllmann, K.-P. (2011). High Speed and Slow Motion: The Technology of Modern Highspeed Cameras. Phys. Educ., 46, 191.
- Weidenmann, B. (1997) "Multimedia": Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? Unterrichtswissenschaft 25, S. 197-206.
- Weiner, B. (1986). An attributional theory of motivation and emotion. New York: Springer.
- Weinert, F. E., Klieme, E., Artelt, C. & Stanat, P. (2014). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren. In Weinert F. (Hrsg.) Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim: Beltz, S. 203–218.
- Wellensiek, A. & Sliwka, A. (2013). Unterschiedlichkeit als Chance – Kompetenzorientierte Unterrichtsorientierung mit dem Ziel der Inklusion. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 135(3), 7–9.
- Welling, S. (2017). Methods matter. Methodisch - methodologische Perspektiven für die Forschung zum Lernen und Lehrer mit Tablets. In J. Bastian & S. Aufenanger (Eds.), Tablets in

Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und –perspektiven zum Einsatz digitaler Medien (pp. 15-36). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Winne P. & Perry N. (2000). Measuring Self-Regulated Learning. In Boekaerts M., Pintrich P. & Zeidner M. (Hrsg.), Handbook of Self-Regulation. San Diego: Academic Press
- Winter, F. I., Greene, J. A. & Costich, C. M. (2008). Self-Regulation of Learning within Computer-based Learning Environments: A Critical Analysis. Educational Psychology 20. Springer Science + Business Media. 429-444.
- Witteck, T., Krause, M. & Eilks, I. (2016). Lernumgebung „Teilchen“. http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/multimedia/lernumgebung_teilchen/index.html.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & Education, 62, 41-49.
- Zehren, W. (2009). Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. Dissertation. Saarbrücken.
- Zehren, W., Neber, H. & Hempelmann, R. (2013). Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. MNU, 66(7), 416–423.
- Zeller, D., Bohrmann-Linde, C. & Kläger, S. (2020). Digital learning tools for teaching „Alternative Solar Cells with Titanium Dioxide“ (ALSO-TiO₂) – a contribution to sustainable development education. World Journal of Chemical Education, 8(1), 29-39.
DOI:10.12691/wjce-8-1-4
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining Self-Regulation - A social cognitive perspective. In: Handbook of Self-Regulation. Academic Press. 13-39.
- Zowada, C., Gulacar, O., Siol, A. & Eilks, I. (2019). Phosphorus. A “Political” Element for Transdisciplinary Chemistry Education. Chemistry Teacher International. DOI: 10.1515/cti-2018-0020.
- Zowada, C., Siol, A., Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphate Recovery as a Topic for Practical and Interdisciplinary Chemistry Learning. J. Chem. Educ., 96 (12), 2952–2958.

5. Anhang

5.1 Entwickelte und eingesetzte Fragebögen innerhalb der Dissertation

5.1.1 Fragebogen zur Erfassung der Einstellung gegenüber digitaler Medien am Beispiel des EXPLAINistry (Joachim Herz Stiftung, 2018) (vgl. Publikation A)

Nr. ☐☐☐



Untersuchung zu Einstellungen zu digitalen Medien im MINT-Unterricht

Liebe Studierende,

in Ihrem Studium beschäftigen Sie sich auch mit dem Einsatz von digitalen Medien im Unterricht. Um in Zukunft Veranstaltungen besser auf Studierende wie Sie abstimmen zu können, wollen wir ein genaueres Bild über Ihre Voraussetzungen erhalten. Hierzu möchten wir Sie und andere Studierende deutschlandweit zu Ihren Ansichten zu digitalen Medien im Unterricht befragen. Die Teilnahme und Angabe von Daten ist freiwillig und anonym.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Christoph Thyssen, Daniel Laumann und Christoph Vogelsang (das Projektteam)

PERSÖNLICHER CODE

Die Beantwortung des Fragebogens ist freiwillig und anonym. Eventuell möchten wir Sie zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Dazu ist es notwendig, dass Sie einen Code generieren, den Sie dann erneut angeben, damit wir Ihre Fragebögen in anonymierter Form einander zuordnen können.

Zweiter Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter ☐

Zweiter Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters ☐

Zweiter Buchstabe Ihres Geburtsortes ☐

DEMOGRAPHISCHE DATEN

1.1. Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

1.2. Auf welche Schulform bezieht sich ihr aktueller Lehramtsstudiengang?

- ☐ Grundschulen ☐ Gymnasien ☐ Berufskollegs, Berufs bildende Schulen o.ä.
☐ Haupt- oder Mittelschule ☐ Gesamtschulen und ver gleichbare Schulformen (z.B. Oberschulen) ☐ Schulen mit sonderpädagogischem Schwerpunkt
☐ Realschulen ☐ Sonstiges:

1.3. Hochschulse semester: (inklusive dieses Semesters)

1.4. Welche Fächer studieren Sie im Rahmen ihres Lehramtsstudiums?

☐ Biologie ☐ Chemie ☐ Physik ☐ ☐

1.5. Die Veranstaltung, in der diese Befragung stattfindet, besuche ich ...

☐ als Pflichtveranstaltung ☐ als Wahlpflichtveranstaltung ☐ freiwillig

1.6. Wie viele Stunden haben Sie bisher selbst unterrichtet (z.B. Praktikum, Vertretungslehrer ...)?

☐ nie ☐ 1-10 Stunden ☐ 11-30 Stunden ☐ mehr als 30

1/6

Nr. ☐☐☐



ERFAHRUNGEN MIT DIGITALEN MEDIEN

In diesem Fragebogen werden Sie zu Ihren Einstellungen zu digitalen Medien befragt. Mit digitalen Medien sind dabei alle Formen von Medien gemeint, die auf dem Einsatz von „Computern“ basieren. Das beinhaltet Laptops, einzelne Software-Programme, das Internet, Digitalkameras, Grafiktablets, etc. Uns interessiert besonders, wie Sie digitale Medien selbst nutzen, aber auch für wie fähig Sie sich halten, digitale Medien im Unterricht sinnvoll einzusetzen.

Kreuzen Sie im Folgenden zu jeder Aussage jeweils ein Kästchen an. Korrigieren Sie evtl., indem Sie Kästchen vollständig „ausmalen“.

2. NUTZUNG DIGITALER MEDIEN

Ich nutze digitale Medien...	nie			sehr oft		
2.1. ...um Informationen zu bestimmten Themen zu suchen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2. ...um (online und/oder offline) Spiele zu spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3. ...um Texte oder Präsentationen zu erstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4. ...um mit Freunden und Bekannten zu kommunizieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5. ...um im Lehramtsstudium Aufgaben mit Hilfe von Programmen (z.B. Excel...) zu erledigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6. ...damit ich Zugang zu sozialen Netzwerken oder Messenger-Diensten erhalte (z.B. Facebook, Whatsapp...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7. ...im Studium durch selbst geschriebene Programme bestimmter Aufgaben zu lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.8. ...um mir Filme oder Videos anzusehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.9. ...zum Schreiben und Lesen von E-Mails für mein Lehramtsstudium.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.10. ...wenn ich Fernsehen, Radio oder andere Entertainment-Anwendungen nutzen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.11. ...zur Erstellung von Podcasts (Audio, Video) in meinem Lehramtsstudium.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.12. ...um kreative Texte (z.B. Geschichten) zu verfassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.13. ...zum Hören bzw. Schauen von Podcasts (Audio, Video/auch YouTube) für mein Lehramtsstudium.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.14. ...zur Fotobearbeitung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.15. ...um eine eigene Website oder einen Blog zu gestalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.16. ...um Unterricht als Vertretungslehrer, Tutor oder in einer vergleichbaren Tätigkeit zu gestalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.17. ... zur Videobearbeitung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2/6

Nr. ☐☐☐



3. VORERFAHRUNGEN MIT DIGITALEN MEDIEN IN SCHULE UND HOCHSCHULE

Während meiner Schulzeit bzw. in meinem Lehramtsstudium habe ich...

	Schule				Studium			
	nie		sehr oft		nie		sehr oft	
3.1. ...Tabellenkalkulationsprogramme (z.B. Excel) zur Bearbeitung von Aufgaben genutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2. ...Experimente oder Beobachtungen mittels Videoanalyse ausgewertet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3. ...bei Experimenten mit Messwertfassungssystemen gearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.4. ...mit Hilfe von digitalen Medien Texte verfasst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5. ...das Smartphone zur Durchführung von Experimenten genutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.6. ...das Fach Informatik belegt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.7. ...zur Realisierung von sensor-basierten Experimenten (z.B. Lego Mindstorms, Arduino...) genutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.8. ...mit Hilfe digitaler Medien Feedback im Unterricht bzw. Lehrveranstaltungen gegeben (z.B. Clicker).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.9. ...mit Augmented-Reality-Anwendungen gearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.10. ...Prozesse und Phänomene mit Hilfe von Computerprogrammen modelliert (z.B. Simulationen).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.11. ...Lernvideos oder -animationen zum Lernen genutzt (z.B. YouTube...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.12. ...Lernvideos oder -animationen selbst erstellt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.13. ...Lehrinhalte mit digitalen Medien für andere aufbereitet (z.B. Quests, Animationen ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.14. ...digitale Fachbücher als ebook oder pdf genutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3/6

Nr. ☐☐☐



5.4. Ich bin bereit, auch mal etwas mehr Zeit in die Unterrichtsvorbereitung zu investieren, wenn ich dafür digitale Medien im Unterricht einsetzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.5. Mich reizt es sehr, zu überlegen, wie ich das Lernen meiner SchülerInnen mit Hilfe digitaler Medien besser unterstützen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.6. Digitale Medien für den Unterricht auszuwählen oder zu erstellen, ist einer der interessantesten Teile bei der Unterrichtsvorbereitung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. WAHRNEHMUNG VON KONTEXTBEDINGUNGEN

	stimme gar nicht zu		stimme völlig zu
6.1. Die lange Vorbereitungszeit verhindert oft, dass ich digitale Medien einplane.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2. Der hohe technische Aufwand verhindert oft, dass ich digitale Medien einplane.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3. Die Ausstattung an Schulen erlaubt es problemlos, digitale Medien in Unterrichtsplanungen einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.4. Mir fehlt manchmal das nötige Wissen, um digitale Medien in Unterrichtsplanungen einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.5. Es kommt stark auf die Disziplin der SchülerInnen im Unterricht an, ob ich digitale Medien in Unterrichtsplanungen einbinde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.6. Der Lehrplan fordert den Einsatz von digitalen Medien.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.7. Ich habe sehr oft Ideen zum Einsatz von digitalen Medien in Unterrichtsplanungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.8. SchülerInnen legen Wert auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.9. Meine Kommilitonen denken, dass digitale Medien ein zwingendes Element von zeitgemäßem Unterricht sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.10. Fachleiter erwarten den Einsatz digitaler Medien im Referendariat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5/6

Nr. ☐☐☐



EINSTELLUNGEN ZU DIGITALEN MEDIEN

Kreuzen Sie im Folgenden an, wie sehr sie der jeweiligen Aussage zustimmen bzw. sie ablehnen. Korrigieren sie evtl., indem sie Kästchen vollständig „ausmalen“.

4. DIGITALE MEDIEN & UNTERRICHT	stimme gar nicht zu		stimme völlig zu
4.1. Digitale Medien sollten generell in den Lehrplänen der Schulen ein starkes Gewicht erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2. Der Einsatz digitaler Medien in den Schulen führt zu einer Verflachung des Unterrichtsniveaus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3. Negative Folgen digitaler Medien für das Lernen werden unterschätzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4. Der Einsatz digitaler Medien ermöglicht in hohem Maße selbstbestimmtes Lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.5. Durch den Einsatz digitaler Medien können SchülerInnen besser zum Lernen motiviert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.6. Computer und digitale Medien eröffnen Spielräume für Kreativität beim Lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.7. Der Einsatz von digitalen Medien in der Schule sorgt dafür, dass Kinder gut auf das Berufsleben vorbereitet werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.8. Das Lernen mit digitalen Medien ist eine effiziente Form des Lernens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.9. Mit digitalen Medien kann ich Unterricht adressatengerechter planen und anpassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.10. Digitale Medien erlauben eine höhere Schüleraktivierung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. MOTIVE ZUM EINSATZ

	stimme gar nicht zu		stimme völlig zu
5.1. Mir macht es Freude, mir zu überlegen, wie ich digitale Medien im Unterricht einsetzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2. Ich informiere mich auch in meiner Freizeit, welche Möglichkeiten es gibt, digitale Medien im Unterricht einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3. Ich mag es, mich in die Bedienung von digitalen Medien (z.B. Programme) für den Unterricht hineinzuarbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4/6

Nr. ☐☐☐



7. EINSCHÄTZUNG ZU EIGENEN FÄHIGKEITEN

	stimme gar nicht zu		stimme völlig zu
7.1. Es wird mir schwerfallen, Experimente mit Hilfe von Messwertfassungssystemen im Unterricht durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.2. Ich komme gut damit zurecht, Lernvideos oder Animationen für meinen Unterricht zu erstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3. Ich bin mir sicher, sensor-basierte Experimente (z.B. Lego Mindstorms, Arduino etc.) im Unterricht realisieren zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4. Ich finde es schwierig, meinen SchülerInnen zu erklären, wie digitale Medien zu bedienen sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5. Ich selbst kann digitale Medien sinnvoll einsetzen, um Feedback von meinen SchülerInnen zum Unterricht zu erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.6. Alles in allem ist es für mich sehr einfach, passende digitale Medien in Unterrichtsplanungen einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.7. Im Unterricht ein Phänomen oder einen Prozess mit Hilfe digitaler Medien zu modellieren (z.B. mit Modellbildungssoftware), fällt mir nicht schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.8. Ich bin grundsätzlich in der Lage, Augmented Reality-Anwendungen zielgerichtet im Unterricht einzusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.9. Ich weiß, wie ich vorgehen muss, wenn ich im Unterricht naturwissenschaftliche Phänomene oder Prozesse mit Hilfe digitaler Videoanalyse untersuchen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6/6

5.1.2 Fragebogen zur Erhebung der (aktuellen Motivation) nach Rheinberg, Vollmeyer & Burns (2001) (vgl. Publikation B, F, G, J, K & L)

CODE: _ _ _

Fragebogen Motivation

	Trifft nicht zu					Trifft zu	
	1	2	3	4	5	6	7
1. Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen.							
2. Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.							
3. Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.							
4. Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.							
5. Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.							
6. Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.							
7. Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.							
8. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.							
9. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte.							
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.							
11. Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.							
12. Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.							
13. Ich glaube, dass kann jeder schaffen.							
14. Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.							
15. Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.							
16. Wenn ich an die Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt.							
17. Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.							
18. Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.							

5.1.3 Fragebogen zur Erhebung der Kognition beim Lehr-Lernszenario „EscapeLab“ (vgl. Publikation B)



Fragebogen EscapeLab



Aus Gründen der Datensicherheit wird der Fragebogen mit einem individuellen anonymen Zuordnungscode versehen. Gib dazu

- 1) den ersten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter..... ☐
- 2) den dritten Buchstaben des Vornamens deines Vaters..... ☐
- 3) die Tageszahl aus deinem Geburtsdatum ☐
- 4) Alter..... ☐

an.

1. Fingerabdrücke:

Kreuze aus der folgenden Liste die Stoffe an, mit denen sich Fingerabdrücke nachweisen lassen.

Kohlepulver	<input type="checkbox"/>
Klebeband	<input type="checkbox"/>
Ninhydrin	<input type="checkbox"/>
Sekundenkleber	<input type="checkbox"/>
Sprühfarbe	<input type="checkbox"/>

2. Fingerabdrücke:

Wieso zieht man vor dem Erstellen eines Fingerabdrucks auf Glasplatten Einmal-Handschuhe an? Kreuze zutreffendes an.

Die Hand soll vor weiteren Verunreinigungen geschützt werden, um einen guten Abdruck zu erzeugen.	<input type="checkbox"/>
In dem Handschuh beginnt die Hand zu schwitzen, was einen deutlicheren Abdruck ermöglicht.	<input type="checkbox"/>
Die Chemikalien im Handschuh reagieren mit Partikeln der Haut. Die entstandene Verbindung bildet dann den Fingerabdruck, der nachgewiesen werden kann.	<input type="checkbox"/>



NanoBioLab



3. Chromatographie:

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Methode der Papierchromatographie.

Kreuze die wahre Aussage an.

Bei der Chromatographie gibt es eine stationäre und eine labile Phase.	<input type="checkbox"/>
Bei der Papierchromatographie wird Kopierpapier als stationäre Phase verwendet.	<input type="checkbox"/>
Mit Hilfe der Papierchromatographie lässt sich herausfinden, ob Farbstoffe aus einer oder mehreren Komponenten zusammengesetzt sind.	<input type="checkbox"/>
Die Auftrennung bei der Chromatographie geschieht, da die Farbteilchen unterschiedlich schwer sind und dadurch unterschiedlich starken Erdanziehungskräften ausgesetzt sind.	<input type="checkbox"/>
In einer Papierchromatographie werden Feststoffe in unterschiedliche Farben aufgetrennt.	<input type="checkbox"/>

4. Chromatographie:

Es wurde eine Papierchromatographie eines Filzstifts durchgeführt. Das Ergebnis ist in folgendem Bild zu sehen. Was kannst du daraus in Bezug auf die Farbzusammensetzung des Filzstifts schließen? Kreuze die richtige Aussage an.



Bei der Papierchromatographie Färben sich Chemikalien nach ihrer Gefährdung. Die gefährlichen Stoffe werden rot, ungefährliche blau. Der Filzstift enthält also gefährliche Stoffe.	<input type="checkbox"/>
Bei der Papierchromatographie handelt es sich um eine spezielle Reaktion mit Chrom. Ändern sich die Farben, so kommt es zur Reaktion mit Chrom, bleibt sie gleich, läuft keine Reaktion ab. Bei dem Filzstift kommt es also zur Reaktion.	<input type="checkbox"/>
Bei der Papierchromatographie trennen sich Farbstoffe aufgrund unterschiedlich starker Wechselwirkungen in ihre Bestandteile auf. Gibt es Bestandteile mit unterschiedlich starken Wechselwirkungen, so kommt es zur Auftrennung. Falls nur ein Bestandteil vorhanden ist, bleibt die Farbe unverändert. Die Farbe des Filzstifts setzt sich also aus verschiedenen Farben zusammen.	<input type="checkbox"/>



5. Indikatoren:

Welche der folgenden Stoffe lassen sich als Indikatoren für Säuren und Basen verwenden? Kreuze sie an.

Sekundenkleber	Karottensaft	<input type="checkbox"/>
Kaffee	Rotkohl	<input type="checkbox"/>
Ninhydrin	Lackmus	<input type="checkbox"/>
Bromthymolblau	Filzstifte	<input type="checkbox"/>
M&Ms	Smarties	<input type="checkbox"/>

6. Indikatoren:

Ein Indikator ist im neutralen Bereich grün gefärbt. Bei Zugabe von Salzsäure färbt sich die Lösung gelb, bei Zugabe von Natriumhydroxid-Lösung blau.

Trage die Farbe desselben Indikatoren bei Zugabe der folgenden Chemikalien in der Spalte neben diesen ein.

Chemikalie	Farbe
Kaliumhydroxid	<input type="text"/>
Chlorwasserstoffsäure	<input type="text"/>
Schwefelsäure	<input type="text"/>
Phosphorsäure	<input type="text"/>

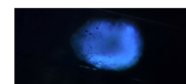
7. Blutspuren:

Gib zwei Chemikalien an, mit denen sich Blutspuren nachweisen lassen:



8. Blutspuren:

Du hast auf einen Objektträger im Labor Luminol gesprüht und beleuchtest diesen jetzt an einem dunklen Ort mit UV-Licht. Das folgende Bild zeigt sich dir. Was kannst du daraus schließen? Kreuze die richtige Aussage an.



Auf dem Objektträger befand sich ein Blutfleck.	<input type="checkbox"/>
Auf dem Objektträger befand sich Leuchtfarbe.	<input type="checkbox"/>
Auf dem Objektträger wurden zuvor Glühwürmchen seziiert.	<input type="checkbox"/>
Auf dem Objektträger befand sich Speichel.	<input type="checkbox"/>

9. Faseranalytik:

Bringe die Schritte der Mikroskopie in die richtige Reihenfolge. Schreibe dazu die Zahlen 1 bis 4 in die Kästchen.

Platziere den Objektträger auf dem Objektisch.	<input type="text"/>
Stelle das Objektiv mit der kleinsten Vergrößerung ein. Drehe zunächst am Grobtrieb, dann am Feintrieb, um scharf zu stellen.	<input type="text"/>
Entnimm einen kleinen Teil deiner Probe, welcher auf den Objektträger passt. Lege die Probe auf den Objektträger, gib einen Tropfen Wasser darauf und bedecke die Probe mit einem Deckgläschen.	<input type="text"/>
Stelle das Objektiv mit der größten Vergrößerung ein und stelle das Bild scharf.	<input type="text"/>

10. Faseranalytik:

Im Folgenden sind mikroskopierte Fasern abgebildet. Ordne diese den drei Fasertypen zu. Notiere dazu die Buchstaben in die Kästchen:

A= Baumwolle, B=Schurwolle, C=Synthetik



☐



☐



☐



☐

5.1.4 Fragebogen zur Erhebung der Selbseinschätzung beim schulischen Einsatz von Augmented Reality (vgl. Publikation E)

Druckversion

06.05.20, 18:41

Druckversion

06.05.20, 18:41

Fragebogen

1 Einführung

Liebe Schüler*innen,
Im Folgenden möchten wir euch bitten, einen Fragebogen auszufüllen, der Aspekte der Selbstwirksamkeit und der Selbstbestimmung im Chemieunterricht mit Frau Lang thematisiert. Die Daten werden in anonymisierter Form ausgewertet und nicht an Dritte weitergegeben.

Wir danken euch im Voraus für Ihre Mitarbeit!

Lesst bitte jede der Aussagen durch und entscheidet dann, inwiefern du diesen zustimmen. Dabei gibt es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Einige Fragen klingen sehr ähnlich, dienen aber der besseren Absicherung der zugrundeliegenden theoretischen Konstrukte.

Hier noch einige wichtige Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens:

- Kreuzt bitte jeweils nur ein Kästchen zu jeder Aussage an.
- Wenn es euch einmal schwerfällt, zu entscheiden, was ihr ankreuzen könntet, so wählt das Kästchen, das am ehesten eurer Meinung entspricht.

Bei Fragen, Anregungen etc.:

Johann Seibert

E-Mail: johann.seibert@uni-saarland.de

2 Code-Generierung

Erstellt bitte im Folgenden zur Anonymisierung euren persönlichen Code aus

- dem ersten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter (z. B. Sabine -> S)
- eurem eigenen Geburtsmonat (z. B. April -> 04)
- dem ersten Buchstaben des Vornamens eures Vaters (z. B. Gerd -> G)
- dem ersten Buchstaben deines Geburtsortes (z. B. Saarbrücken -> S)

3 Demografische Daten

Wie alt bist du?

(Angabe in ganzen Jahren)

Geschlecht

☐ männlich

☐ weiblich

Klassenstufe

4 Selbstbestimmung

Denke im Folgenden bitte an den Chemieunterricht von Frau Lang und das Lernklima in der Klasse. Inwiefern stimmst du folgenden Aussagen zu?

Nein, stimmt gar nicht Nein, stimmt eher nicht Weder noch Ja, stimmt genau Ja, stimmt eher

https://ww2.unipark.de/www/print_survey.php?syid=6826188__menu_node=print

Seite 1 von 6

https://ww2.unipark.de/www/print_survey.php?syid=6826188__menu_node=print

Seite 2 von 6

Druckversion

06.05.20, 18:41

Beachtung geschenkt.

Ich komme mit den Kommilitonen im Seminar gut zurecht.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Im Seminar erhalte ich nicht viele Möglichkeiten, um zu zeigen, wie leistungsfähig ich bin.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Im Seminar bleibe ich lieber für mich.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Bezogen auf das Arbeiten für das Seminar fühle ich mich unter Druck gesetzt.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Im Seminar kann ich interessante Fähigkeiten erwerben.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

5 Allgemeine Selbstwirksamkeit

Denke im Folgenden bitte an den Chemieunterricht von Frau Lang und das Lernklima in der Klasse. Inwiefern stimmst du folgenden Aussagen zu?

Nein, stimmt gar nicht Nein, stimmt eher nicht Weder noch Ja, stimmt genau Ja, stimmt eher

Die Lösung schwieriger Aufgaben gelingt mir immer, wenn ich mich anstrengte.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Vor Schwierigkeiten habe ich keine Angst, weil ich weiß, was ich kann.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Wenn etwas Neues auf mich zukommt, weiß ich, was ich machen kann.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Wenn es ein Problem gibt, habe ich viele Ideen, wie ich es lösen kann.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

6 Schulische Selbstwirksamkeit

Denke im Folgenden bitte an den Chemieunterricht von Frau Lang und das Lernklima in der Klasse. Inwiefern stimmst du folgenden Aussagen zu?

Nein, stimmt gar nicht Nein, stimmt eher nicht Ja, stimmt eher Ja, stimmt genau

In der Vorlesung/der Übung kann ich auch die schwierigsten Aufgaben lösen.

☐ ☐ ☐ ☐

Es fällt mir leicht, neue Lerninhalte zu verstehen.

☐ ☐ ☐ ☐

Auch wenn ich mal länger krank bin,

https://ww2.unipark.de/www/print_survey.php?syid=6826188__menu_node=print

Seite 3 von 6

Druckversion

06.05.20, 18:41

habe ich keine Probleme, Lerninhalte zu verstehen.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich bin überzeugt, dass ich meine Hausaufgaben sehr gut mache.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich glaube, dass ich auch schwierige Aufgaben schaffen kann.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich bin überzeugt, dass ich in der Klausur immer eine gute Note schreiben kann.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

7 Digitale Selbstwirksamkeit

Welche Aussagen treffen deiner Meinung nach auf deine aktuelle Situation und deine aktuellen Fähigkeiten am besten zu?

Kreuze jeweils die Bewertung der Aussage an, die dir am passendsten erscheint.

Trifft gar nicht zu Trifft eher nicht zu Weder noch Trifft eher zu Trifft voll und ganz zu

Ich fühle mich bei der Verwendung der Grundfunktionen digitaler Medien sicher.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich habe Vertrauen in meine Kenntnisse und Fähigkeiten in Bezug auf digitale Medien.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich fühle mich sicher im Umgang mit digitalen Medien, um effektiv mit anderen zu kommunizieren.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich fühle mich sicher im Umgang mit dem Internet (Google, Yahoo), um Informationen zu finden oder zu sammeln.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich fühle mich sicher im Umgang mit digitalen Medien.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich fühle mich sicher, alle speziellen Funktionen und Merkmale eines digitalen Mediums zu kennen.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Ich bin sicher, dass ich weiß, wie ein mobiles Endgerät funktioniert.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

8 Optimismus (Digitalität)

Welche Aussagen treffen deiner Meinung nach auf deine aktuelle Situation und deine aktuellen Fähigkeiten am besten zu?

Kreuze jeweils die Bewertung der Aussage an, die dir am passendsten erscheint.

Trifft gar nicht zu Trifft eher nicht zu Weder noch Trifft eher zu Trifft voll und ganz zu

Ich verwende gerne digitalen Medien, weil ich jederzeit und überall lernen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitale Medien machen mich beim Lernen effizienter.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich mag digitale Medien, die es mir ermöglichen, Dinge auf meine eigenen Bedürfnisse zuzuschneiden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich mag digitale Medien.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitale Medien geben mir mehr Kontrolle über meine Lernzeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitale Medien sind viel bequemer zu bedienen als analoge Medien.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitale Medien geben mir mehr Freiheit beim Lernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9 Interesse am Thema bzw. Fach

Welche Aussagen treffen deiner Meinung nach auf deine aktuelle Situation und deine aktuellen Fähigkeiten am besten zu?

Kreuze jeweils die Bewertung der Aussage an, die dir am passendsten erscheint.

	Trifft gar nicht zu	Trifft eher nicht zu	Weder noch	Trifft eher zu	Trifft voll und ganz zu
Ich interessiere mich auch außerhalb des Chemiestudiums für chemische Fragestellungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chemie macht mir Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich freue mich darauf an die Universität zu gehen, wenn ich weiß, dass ich an diesem Tag eine Vorlesung oder eine Übung in Chemie habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Thema „Atommodelle und chemische Bindung“ finde ich spannend.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Naturwissenschaftliche Phänomene begeistern mich auch in meiner Freizeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10 Subjektive Einschätzung der Leistung und der Lernumgebung

Welche Aussagen treffen deiner Meinung nach auf deine aktuelle Situation und deine aktuellen Fähigkeiten am besten zu?

Kreuze jeweils die Bewertung der Aussage an, die dir am passendsten erscheint.

	Trifft gar nicht zu	Trifft eher nicht zu	Weder noch	Trifft eher zu	Trifft voll und ganz zu
--	---------------------	----------------------	------------	----------------	-------------------------

Das Lernen mit der Augmented Reality bzw. eBooks macht mir Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Augmented Reality bzw. eBooks helfen mir dabei, den Lerninhalt zum Kugelwolkenmodell besser zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Bedienung digitalen Materialien ist einfach.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D-Modelle verwirren mich bei der Erarbeitung eines neuen Themas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kann die Kernaussagen des Kugelwolken-Modells wiedergeben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kann die ersten 18 Elemente des Periodensystems als Kugelwolken-Modell zeichnen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kann den Aufbau des Periodensystems anhand des Kugelwolken-Modells erklären.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kann verschiedene Bindungsarten von Molekülen mit Hilfe des Kugelwolken- Modells erklären.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11 Endseite

Vielen Dank für deine Teilnahme!

5.1.5 Fragebogen zur Erhebung der Selbstregulation beim Einsatz von interaktiven eBooks in Form von MEIs (vgl. Publikation J, K, L)



Fragebogen (Selbstregulation)

Du füllst heute mehrere Fragebögen aus. Zur eindeutigen Zuordnung wird ein individueller, anonymer Code erstellt. Gib dazu

1. den zweiten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter.....
2. den ersten Buchstaben des Vornamens deines Vaters.....
3. die Tageszahl aus deinem Geburtsdatum.....
4. Alter.....
5. Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

an.

		trifft nicht trifft zu zu					
		1	2	3	4	5	6
1.	Vor dem Experimentieren weiß ich genau, welche Ziele ich erreichen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Ich habe eine klare Vorstellung davon, was ich beim Experimentieren erreichen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Vor dem Experiment überlege ich mir, welche Fragestellung ich überprüfe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Vor dem Experiment überlege ich mir, welche Materialien und Chemikalien ich benötige.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Ich finde das Arbeiten im Schülerlabor sehr interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Das Aufgabenlösen im Schülerlabor macht Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Beim Experimentieren überlege ich mir, ob mein Vorgehen sinnvoll ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Ich achte beim Experimentieren darauf, dass ich mein Ziel nicht aus den Augen verliere.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Nach dem Experimentieren überlege ich, was ich beim nächsten Mal besser machen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Nach dem Experimentieren prüfe ich, ob ich meine Ziele erreicht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.	Wenn mir beim Experimentieren etwas nicht gelingt, liegt es daran, dass ich schlecht experimentieren kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	Wenn mir beim Experimentieren etwas nicht gelingt, habe ich mich häufig nicht genug angestrengt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	Im Schülerlabor fühle ich mich nicht sehr kompetent.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.	Im Schülerlabor kann ich interessante neue Fähigkeiten erwerben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Fragebogen (Kognition)

Du füllst heute mehrere Fragebögen aus. Zur eindeutigen Zuordnung wird ein individueller, anonymer Code erstellt. Gib dazu

1. den zweiten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter.....
 2. den ersten Buchstaben des Vornamens deines Vaters.....
 3. die Tageszahl aus deinem Geburtsdatum.....
 4. Alter.....
 5. Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐
- an.

Zusätzliche Angaben:

$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$, $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$, $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$

$V_m = 24,47 \text{ l/mol}$ (1013 hPa, 25°C)

1. Gib eine Formel zur Berechnung des Molaren Volumens an.

--

2. Beim wiegen einer leeren Spritze muss...

- ☐ ...der Auftrieb der Spritze berücksichtigt werden.
- ☐ ...der Deckel unbedingt mitgewogen werden.
- ☐ ...Luft mitgewogen werden.
- ☐ ...der Stempel immer nach unten zeigen.

3. Gib die Molare Masse von Octan an.

--

4. Bei einer Messung wurden die folgenden Daten notiert. Identifiziere das gasförmige Alkan anhand seiner Molaren Masse.

	$V(\text{Spritze}) = 100 \text{ ml}$ $m(\text{vorher}) = 58,99 \text{ g}$ $m(\text{nachher}) = 59,17 \text{ g}$
--	---

5. Gib die Reaktionsgleichung zur quantitativen Oxidation von Ethan mit Kupferoxid an.



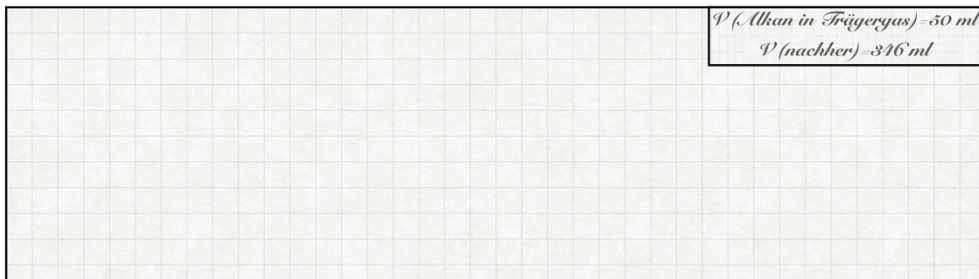
6. Bei der quantitativen Oxidation eines gasförmigen Alkans hat sich das Volumen verdreifacht. Um welches Alkan handelt es sich? Begründe in einem Satz deine Antwort.



7. Gib an, ab welcher Kettenlänge Alkane bei Raumtemperatur flüssig sind.



8. Bei einer Messung wurden die folgenden Werte notiert.
Gib die Summenformel des eingesetzten flüssigen Alkans und begründe deine Antwort.



$V(\text{Alkan in Trägergas}) = 50 \text{ ml}$
 $V(\text{nachher}) = 316 \text{ ml}$

Fragebogen Gewässeranalyse (Kognition)

Du füllst heute mehrere Fragebögen aus. Zur eindeutigen Zuordnung wird ein individueller, anonymer Code erstellt. Gib dazu

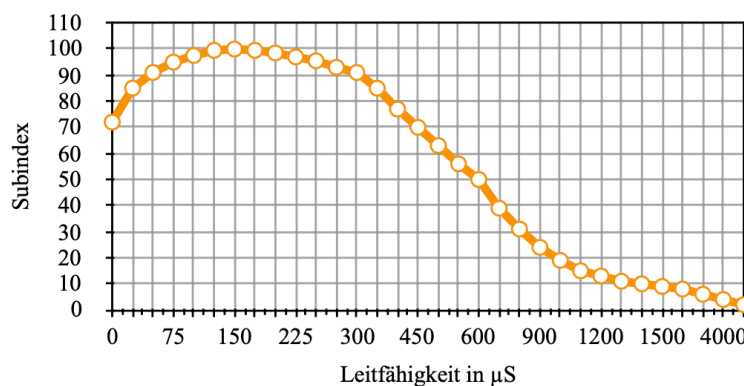
1. den zweiten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter.....
 2. den ersten Buchstaben des Vornamens deines Vaters.....
 3. die Tageszahl aus deinem Geburtsdatum.....
 4. Alter.....
- an.

1. Allgemein

a) Einer der folgenden Parameter ist für die Bestimmung des chemischen Index **nicht** notwendig. Kreuze diesen Parameter an:

Sauerstoff	<input type="checkbox"/>
Chlorid	<input type="checkbox"/>
Nitrat	<input type="checkbox"/>
pH-Wert	<input type="checkbox"/>

b) Im folgenden ist die Transformationskurve für die Leitfähigkeit abgebildet. Entscheide, welche Leitfähigkeit der höchsten Wasserqualität entspricht.



Kreuze an:

0 µS	<input type="checkbox"/>
150 µS	<input type="checkbox"/>
600 µS	<input type="checkbox"/>
4000 µS	<input type="checkbox"/>

2. Sauerstoff

a) Um die Entfärbung der Lösung bei der Titration besser sichtbar zu machen, werden gegen Ende wenige Tropfen einer Lösung hinzugegeben. Kreuze die entsprechende Lösung an.

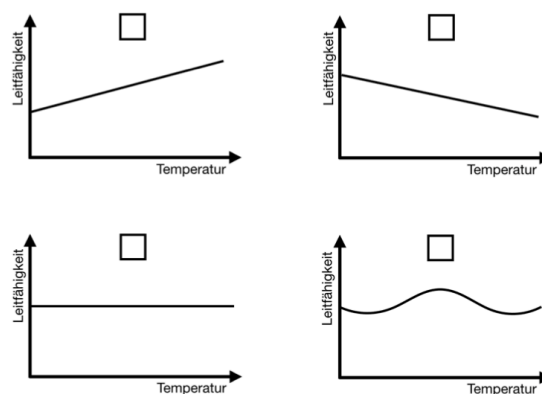
Zink-Iodid-StärkeLösung	<input type="checkbox"/>
Schwefelsäure	<input type="checkbox"/>
Natriumthiosulfat	<input type="checkbox"/>
Natronlauge (kaliumiodidhaltig)	<input type="checkbox"/>

b) Begründe, warum die Bestimmung des BSB₅-Wertes während eures Besuchs im NanoBioLab nicht möglich ist. Kreuze die passende Begründung an.

Die benötigten Chemikalien sind zu gefährlich.	<input type="checkbox"/>
Die benötigten Chemikalien stehen nicht zur Verfügung.	<input type="checkbox"/>
Das Volumen der benötigten Wasserprobe ist zu hoch.	<input type="checkbox"/>
Die Dauer des Versuches ist zu lang.	<input type="checkbox"/>

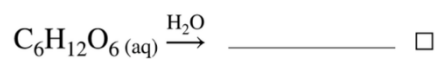
3. Leitfähigkeit

a) In einem der Versuche wird untersucht, ob die Leitfähigkeit von der Temperatur abhängt. Kreuze den Graphen an, der diesem Zusammenhang am ehesten entspricht.



b) Die beiden Stoffe Glucose und Kochsalz werden in Wasser gelöst. Vervollständige die Gleichungen!

Kreuze an, bei welchem Lösevorgang die Leitfähigkeit erhöht wird.

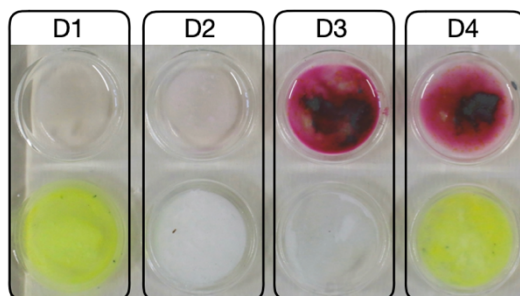


4. Nitrat/Phosphat

a) Kreuze die korrekte Aussage an.

Mit Lungen-Reagenz I lässt sich Nitrat nachweisen.	<input type="checkbox"/>
Mit Lungen-Reagenz I lässt sich Nitrit nachweisen.	<input type="checkbox"/>
Mit Lungen-Reagenz I und II lässt sich Nitrat nachweisen.	<input type="checkbox"/>
Mit Lungen-Reagenz I, II und Zink lässt sich Nitrat nachweisen.	<input type="checkbox"/>

b) Die Düngemittel 1 bis 4 (D1-D4) wurden auf Nitrat und Phosphat untersucht. Entscheide, in welchem Düngemittel Phosphat, aber kein Nitrat enthalten ist.



D1	<input type="checkbox"/>
D2	<input type="checkbox"/>
D3	<input type="checkbox"/>
D4	<input type="checkbox"/>

5. Ammonium

a) Das Enzym _____ katalysiert die Zersetzung von Harnstoff.

Kreuze das passende Enzym an.

Urease	<input type="checkbox"/>
Katalase	<input type="checkbox"/>
Amylase	<input type="checkbox"/>
Lipase	<input type="checkbox"/>

b) Begründe, warum die Ammoniumkonzentration und nicht zu Ammoniakkonzentration für die Gewässeranalyse relevant ist. Kreuze die passende Begründung an.

Die Ammoniakkonzentration lässt sich grundsätzlich nicht bestimmen.	<input type="checkbox"/>
Bei gegebener Temperatur liegt zum größten Teil Ammonium im Wasser vor	<input type="checkbox"/>
Bei gegebenem pH-Wert liegt zum größten Teil Ammonium im Wasser vor.	<input type="checkbox"/>
Ammonium und Ammoniak sind das gleiche. Man könnte genau so gut die Ammoniakkonzentration bestimmen.	<input type="checkbox"/>

6. pH-Wert

a) Kreuze die korrekte Aussage an.

der pH-Wert von Essigessenz ist höher als der von Essig.	<input type="checkbox"/>
Essigessenz ist basischer als Essig.	<input type="checkbox"/>
Essigessenz ist saurer als Essig.	<input type="checkbox"/>
Essigessenz und Essig besitzen den gleichen pH-Wert.	<input type="checkbox"/>

b) Bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe entstehendes _____ ist direkt verantwortlich für die Versauerung der Meere.

Kreuze den passenden Stoff an.

H ₂ O	<input type="checkbox"/>
CO ₂	<input type="checkbox"/>
CH ₄	<input type="checkbox"/>
CO	<input type="checkbox"/>

5.1.7 Fragebogen zur Erhebung der Kognition beim Lehr-Lernszenario „Analyse von Cola“ (vgl. Publikation L)



Kognitionsfragebogen



Lieber Schüler/liebe Schülerin,

dieser Fragebogen dient dazu, dein Wissen zu den heutigen Experimenten zu prüfen. Du hast 15 Minuten Zeit, um die Fragen zu beantworten. Bitte markiere deine Antwort durch ein eindeutiges Kreuz am entsprechenden Feld und schreibe weder deinen Namen noch Kommentare auf den Fragebogen. Die Befragung ist anonym, das heißt, dass niemand weiß, von wem der Fragebogen stammt. Damit die Fragebögen, die du ausfüllst, einander zugeordnet werden können, musst du den folgenden Code ausfüllen:

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich ☐ anderes

Alter: _____ Jahre

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter: _____

Zweiter Buchstabe des Vornamens deines Vaters: _____

Dritter Buchstabe deines Geburtsortes: _____

Dein Geburtstag ist am _____. XX. 20XX (Tag.Monat.Jahr)

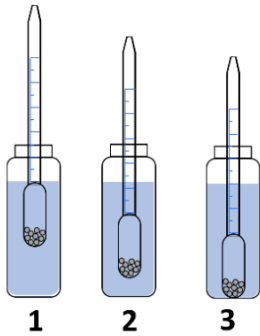
Beginn des Fragebogens

Kreuze die richtige Antwort an! Es ist immer nur eine Antwortmöglichkeit pro Frage richtig.

1. Ein Aräometer wird verwendet, ...
<input type="checkbox"/> ... um den Säuregehalt von Flüssigkeiten anhand der Eintauchtiefe zu bestimmen. <input type="checkbox"/> ... um den Säuregehalt von Flüssigkeiten anhand der Farbe zu bestimmen. <input type="checkbox"/> ... um die Dichte von Flüssigkeiten anhand der Eintauchtiefe zu bestimmen. <input type="checkbox"/> ... um die Dichte von Flüssigkeiten anhand der Farbe zu bestimmen.
2. Zu dem Aufbau eines Aräometers zählt NICHT...
<input type="checkbox"/> ... ein Metallgewicht. <input type="checkbox"/> ... eine Skala. <input type="checkbox"/> ... ein Schwimmkörper. <input type="checkbox"/> ... ein Glasstab.

BITTE WENDEN!

3. Welche der folgenden Lösungen besitzt die größte Dichte?



- ☐ Lösung 1
- ☐ Lösung 2
- ☐ Lösung 3
- ☐ Das ist anhand der Abbildung nicht feststellbar.

4. Welche Aussage trifft auf die Dichte von Cola und Cola light zu?

- ☐ Die Dichte von Flüssigkeiten ist immer gleich.
- ☐ Cola besitzt eine geringere Dichte als Cola light.
- ☐ Cola light besitzt eine geringere Dichte als Cola.
- ☐ Die Dichte von Cola entspricht der Dichte von Cola light.

5. Leitet man Kohlenstoffdioxid in Kalkwasser, ...

- ☐ ... dann beobachtet man einen Farbumschlag der Lösung.
- ☐ ... dann beobachtet man eine Gasentwicklung.
- ☐ ... dann beobachtet man eine Trübung der Lösung.
- ☐ ... dann beobachtet man ein deutliches Erwärmen der Lösung.

6. Bei Kalkwasser handelt es sich um...

- ☐ ... in Wasser gelöstes Calciumcarbonat, also Kalk.
- ☐ ... in Wasser gelöstes Calciumhydroxid.
- ☐ ... in Wasser gelöstes Natriumcarbonat.
- ☐ ... in Wasser gelöstes Natriumhydroxid.

7. Der Dichteunterschied von Cola und Cola light lässt sich erklären durch...

- ☐ ... den unterschiedlichen Säuregehalt in Cola und Cola light.
- ☐ ... den in Cola enthaltenen Zucker.
- ☐ ... die erhöhte Schaumbildung von Cola light.
- ☐ ... die in Cola light enthaltenen Süßstoffe.

8. Um den Zuckergehalt einer Lösung zu ermitteln...

- ☐ ... kann man die Lösung eindampfen.
- ☐ ... kann man den Säuregehalt der Lösung untersuchen.
- ☐ ... kann man Bromthymolblau verwenden.
- ☐ ... kann man die Lösung mit Aktivkohle filtrieren.

Danke für deine Teilnahme an der Befragung!

ENDE DES FRAGEBOGENS

5.2 Download-Link (QR-Code) der entwickelten Lehr-Lerneinheiten

Alle oben beschriebenen Materialien sind unter nachfolgendem QR-Code und Link abrufbar und stehen als Download zur Verfügung.



<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-chemiedidaktik/downloads.html>