

LFB-Labs-digital: Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt

Ein Bericht zur Konzeption eines Verbundprojektes

Tim Kirchhoff^{1,#}, Stefanie Schwedler^{1,#}, Simone Abels²,
Andres Acher¹, Dario Anselmetti¹, Kris-Stephen Besa³,
Jonathan Biehl⁴, Eva Blumberg⁵, Andreas Breiter⁶,
Maja Brückmann⁷, Doreen Büntemeyer⁶, Mahdi El Tegani¹,
Alex Engelhardt⁸, Norbert Grotjohann¹, Celina Kiel¹,
Michael Kleine¹, Rolf Koerber⁴, Maike Lambrecht¹,
Anna Lehmenkühler¹, David Meyer⁷, Alina Mußhoff²,
Maren Panhorst¹, Colin Peperkorn¹, Kerstin Röllke¹,
Jürgen Roth⁸, Maria Sophie Schäfers¹, Henning Schüler¹,
Lisa Stinken-Rösner¹, Sebastian Strauß³, Janne Stricker¹,
Katrin Temmen⁵, Katja Tönsing¹, Dan Verständig¹,
Claas Wegner¹, Nicole Wellensiek¹, Annkathrin Wenzel⁵,
Daniela Wördemann¹, Mathias Ziegler¹,
Martin Heinrich^{1,τ} & Matthias Wilde^{1,τ,*}

¹ Universität Bielefeld

² Leuphana Universität Lüneburg

³ Universität Münster

⁴ Technische Universität Dresden

⁵ Universität Paderborn

⁶ Universität Bremen

⁷ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

⁸ Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau

geteilte Erstautor*innenschaft

τ geteilte Senior-Autorenschaft

* Kontakt: Matthias Wilde, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
matthias.wilde@uni-bielefeld.de



Dieses Werk ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 (Weitergabe unter gleichen Bedingungen). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z.B. Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

Zusammenfassung: Schülerlabore haben unter anderem zum Ziel, die Motivation, insbesondere das Interesse – i.S. einer gegenstandsbezogenen Motivation – von Schüler*innen an MINT-Themen und -Arbeitsweisen zu fördern. Darüber hinaus konnten sie sich schneller und produktiver als die formalen Bildungsorte den Herausforderungen der digitalen Transformation stellen. Das Potenzial, Schülerlabore auch als innovative Orte der Lehrkräftefortbildung (LFB) zu nutzen und digitalisierungsbezogene Kompetenzen bei Lehrkräften aufzubauen, wurde bisher nicht ausgeschöpft. Im Verbundprojekt mit insgesamt acht Standorten werden Schülerlabore zu LFB-Labs-digital ausgebaut und die Frage nach Implementierungsvoraussetzungen gelingender Fortbildungen in der digitalen Welt im MINT-Bereich bearbeitet. In diesem Artikel werden die theoretische Fundierung, Ziele und anvisierten Forschungsarbeiten des Verbunds LFB-Labs-digital dargelegt. Zur Unterstützung der mit der forschungsbasierten Qualitätsentwicklung der MINT-bezogenen Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften betrauten Einrichtungen in den Ländern sollen in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum MINT des Bundes die Lernorte „Schülerlabore“ für die digitale LFB erschlossen werden, um vermittelt hierüber die Motivation von Schüler*innen für die MINT-Fächer zu fördern. Die in den Schülerlaboren evaluierten und vom fächerübergreifenden adaptiven Qualitätsmanagement für die LFB wissenschaftlich begleiteten Good-Practice-Beispiele werden zur Grundlage für den „Referenzrahmen LFB-Labs-digital“. Dieser wird – vor dem Hintergrund einer Ergebnistriangulation aus der Begleitforschung sowie den damit parallelisierten Studien zur Evidenzbasierung der Lehrkräftequalifizierung in der digitalen Welt und dem Musterqualitätshandbuch LFB – entwickelt und von einem Implementierungsbeirat mit ausgewiesenen Expert*innen in diesem Bereich auf Transferoptionen hin geprüft. Die digitale Infrastruktur für die LFB-Labs-digital-Veranstaltungsformate wird hierzu prozessbegleitend ausgebaut.

Schlagwörter: Lehrkräftefortbildung; Digitalität; Schülerlabor; MINT

1 Einleitung

Die Lehrkräftefortbildung (LFB) in den MINT-Fächern steht zusätzlich zum Lehrkräftemangel (Bieber et al., 2020), Quer- bzw. Seiteneinstieg (Dedering, 2020) und nicht selten fachfremden Unterrichten (z.B. im Sachunterricht) vor mehrfachen Herausforderungen: Neben der – angesichts gesellschaftlicher Bedarfe – zu geringen Motivation von Schüler*innen für MINT-bezogene Themen (Großmann et al., 2021) ist die Notwendigkeit der Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen aufseiten der Schüler*innen und der Lehrkräfte zu konstatieren (Eickelmann, 2019; Huber et al., 2020; Vogelsang et al., 2019).

Auf der einen Seite nehmen Schüler*innenmotivation und -interesse an MINT-Themen im Verlauf der Schulzeit deutlich ab (z.B. Großmann et al., 2021; Krapp & Prenzel, 2011). Dabei soll die Förderung von Motivation und Interesse (speziell in MINT-Fächern) ein wesentliches Ziel des Unterrichts sein, um im Sinne der Literacy-Konzeptionen (z.B. Bybee & McCrae, 2011) eine langfristige und lebenslange Beschäftigung mit MINT-Themen zu erreichen (z.B. MSW NRW, 2015). Motivation und Interesse sind bedeutsam für erfolgreiche Lernprozesse (z.B. Artelt et al., 2003; Hattie, 2009; Helmke, 2015; Krapp, 1998; Ryan & Deci, 2017) und beeinflussen Lebensentscheidungen von Schüler*innen, wie z.B. ihre Berufswahl (Schiepe-Tiska et al., 2016; Watt, 2016). Motivationale Faktoren gelten als zentrale Merkmale von Unterrichtsqualität (z.B. Helmke, 2009).

Auf der anderen Seite zeigen (auch angehende) Lehrkräfte eher geringe digitalisierungsbezogene Kompetenzen (Dreer & Kracke, 2020; Eickelmann et al., 2019). Dies spiegelt sich in der geringen Nutzungshäufigkeit digitaler Medien im schulischen Unterricht wider (Eickelmann, 2019). Insbesondere Lehrkräfte, die sich bereits im Schuldienst

befinden, müssten weitere Kompetenzen in der Gestaltung und Implementierung digitaler Lernsettings aufbauen (Huber et al., 2020). Neben vielen anderen Faktoren, wie professionsspezifischen Widerständen (Lau et al., 2019), führt Eickelmann (2019) diese Mängel auch auf fehlende digitalisierungsbezogene Lerngelegenheiten im Lehramtsstudium zurück. Denn gerade digitalisierungsbezogene Lerngelegenheiten in universitären Lehrveranstaltungen können die Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartungen der Lehramtsstudierenden der MINT-Fächer in Bezug auf den Einsatz digitaler Medien positiv beeinflussen (Vogelsang et al., 2019). Dies gilt einmal mehr mit Blick auf die eigenen Medienkompetenzen in didaktischen Szenarien. Trotz fehlender digitaler Kompetenzen der (angehenden) Lehrkräfte werden digitalisierungsbezogene Fortbildungsangebote lediglich in geringem Maße angenommen (Eickelmann, 2019). Jenseits der professionsspezifischen Widerstände geht diese Nicht-Teilnahme an Maßnahmen zur Professionalisierung auch auf das Fehlen adäquater Angebote zurück (Diepolder et al., 2021; GEW, 2020; Hoffmann & Richter, 2016), die Professionsinteressen berücksichtigen (Heinrich, 2021).

In dem Verbundprojekt LFB-labs-digital¹ werden die Diskurse zu den zwei zentralen Herausforderungen – die Förderung der Motivation für die MINT-Fächer sowie die Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen – in den „LFB-Labs-digital“ zusammengeführt und mit der Frage nach den Voraussetzungen einer gelingenden Implementierung (van Ackeren et al., 2019) digitalisierungsbezogener Fortbildungen für motivierenden MINT-Unterricht verbunden. Im Lichte dieser Problemkonstellation bieten sich Schülerlabore als fachauthentische, motivierende und innovative Lern- und Lehrorte für digitalisierungsbezogene MINT-Lehrkräftefortbildungen an.

2 Schülerlabore als Ort der MINT-Lehrkräftefortbildung

2.1 Motivation und Interesse für MINT-Themen durch Schülerlabore und LFB-Angebote

In den letzten Dekaden sind mehrere hundert MINT-Schülerlabore mit den expliziten Zielsetzungen entstanden, Motivation und Interesse an MINT-Themen zu fördern, ein authentisches Bild der Fächer zu vermitteln und die Berufsorientierung bzw. Fachkräftegewinnung zu unterstützen (Euler & Schüttler, 2020; Nickolaus et al., 2018; Scharfenberg et al., 2019). Dabei eröffnen Schülerlabore den Schüler*innen die Möglichkeit, authentische MINT-Fragestellungen zum Beispiel mittels Hands-on-Experimenten in wissenschaftsnahen Lernumgebungen selbst zu untersuchen (Euler & Schüttler, 2020; Scharfenberg et al., 2019). Oft werden diese Besuche als halbtägige Workshops angeboten und wirken sich zunächst vor allem günstig auf eher situative Merkmale der teilnehmenden Schüler*innen aus (Lewalter, 2020; Nickolaus et al., 2018; Scharfenberg et al., 2019; Schütte & Köller, 2015), wie zum Beispiel situationales Interesse (z.B. Kirchhoff, Wilde et al., 2023; Schüttler et al., 2021) und intrinsische Motivation (z.B. Kirchhoff, Randler et al., 2023). Obwohl die Lehrkräfte in diesem Setting scheinbar kaum in Erscheinung treten, denn die eigentliche Betreuung im Schülerlabor übernehmen i.d.R. Mitarbeiter*innen der Universität, nehmen sie tatsächlich eine bedeutende Rolle als Vermittelnde zwischen Schüler*innen und Wissenschaft ein. Das zeigt sich besonders bei der unterrichtlichen Einbindung der im Schülerlabor erworbenen Inhalte und motivationalen Erfahrungen durch eine entsprechende unterrichtliche Vor- und Nachbereitung (Itzek-Greulich et al., 2015; Ralle, 2015; Reimann et al., 2020).

MINT-Schülerlabore können auch für Lehrkräfte authentische, motivierende und innovative Lernsettings bieten, in denen sie Gelegenheit zur Beobachtung und Exploration erhalten. Als Lehr-Lernlabore werden diese Lernorte meist in der ersten Phase der Lehr-

¹ Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt.

amtsausbildung, aber kaum in der LFB eingesetzt (Brüning et al., 2020; Euler & Schüttler, 2020). Lehramtsstudierende können in Lehr-Lernlaboren Handlungsstrategien sowie selbst entwickelte Materialien in einem geschützten Rahmen mit Schüler*innenkontakt erproben (Scharfenberg et al., 2019) und dabei ihr pädagogisches Fachwissen erweitern (Scharfenberg & Bogner, 2016). Dieses Potenzial könnte auch für LFB genutzt werden, indem Schülerlabore als Ort der MINT-Lehrkräftefortbildung die Kompetenzen von praxiserfahrenen Lehrkräften mit denen von fachlichen und fachdidaktischen Expert*innen zusammenführen und als „Katalysatoren von Innovationen außerhalb des etablierten und eher träge reagierenden schulischen Systems“ (Euler & Schüttler, 2020, S. 163) fungieren.

2.2 Digitalisierung als bildungsbezogene Herausforderung im MINT-Bereich

Der hohe Bedarf an adäquaten, transferstarken Lehrkräftefortbildungen spiegelt eine ebenso hohe Komplexität der zu vermittelnden professionsbezogenen Kompetenzen wider. Die für den pädagogisch und fachlich sinnstiftenden Einsatz digitaler Anwendungen im Unterricht erforderliche Verzahnung von pädagogischem (PK) und fachlichem (CK) sowie technologischem Wissen (TK) stellen Mishra und Köhler (2006) als Schnittmenge der drei Wissensdimensionen dar (TPaCK). Die diversen Wissensfacetten des TPaCK-Modells wurden für die MINT-Fächer domänenspezifisch in Kompetenzen übersetzt; so schlüsselt beispielsweise der Orientierungsrahmen DiKoLAN (Digitalisierungsbezogene Kompetenzen im Lehramt der Naturwissenschaften; Becker et al., 2020) die Anforderungen an Lehrkräfte der Naturwissenschaften in vier eher domänenübergreifende und drei eher naturwissenschaftsspezifische Kompetenzbereiche anhand der TPaCK-Logik auf.

In neueren Ansätzen wird das Konzept des technologischen Wissens (TK) als zu begrenzt kritisiert, um die sich rasant wandelnde Kultur der Digitalität in Wissenschaft und Gesellschaft im schulischen Kontext reflektieren und abbilden zu können (Stalder, 2018). Vor diesem Hintergrund schlagen Huwer et al. (2019) und Döbeli Honegger (2021) eine Erweiterung dieser Facette auf das digitalisierungsbezogene Wissen bzw. digitalisierungsbezogene Kompetenzen (DK) in ihren DPaCK-Modellen vor. Neben rein technologischen Wissensfacetten berücksichtigt dieses Konstrukt nicht nur die anwendungsbezogene Perspektive, sondern auch Fragestellungen, die sich auf die vielperspektivischen (z.B. gesellschaftlich-kulturellen, sozialen und ethischen) Auswirkungen der digitalen Transformation in unserer Gesellschaft beziehen (Lang et al., 2021; Thyssen et al., 2023). Dadurch wird dem soziokulturellen Kontext technischer Innovation mehr Bedeutung zugemessen. Die ursprüngliche Grundidee des TPaCK-Modells von multidimensional verschränkten Wissens- bzw. Kompetenzbereichen bleibt dabei erhalten. Allerdings ist das inhaltlich vielversprechende DPaCK-Modell – anders als das etablierte TPaCK-Modell – bisher weder operationalisiert noch validiert worden (SWK, 2022).

An beiden Modellen (TPaCK wie DPaCK) wird sehr deutlich, dass sich hinsichtlich der Digitalisierung also komplexe, mehrdimensionale Anforderungen an MINT-Lehrkräfte und dementsprechend an digitalisierungsbezogene Lehrkräftefortbildungen im MINT-Bereich ergeben, ebenso wie systematische Implementierungserfordernisse.

2.3 Erweitertes Angebots-Nutzungs-Modell zur Wirksamkeit von Fortbildungs- und Professionalisierungsmaßnahmen für Lehrpersonen

Seit langem ist als ein zentrales Problem in der Lehrkräftefortbildung bekannt, dass der Transfer von Fortbildungsinhalten in die unterrichtliche Lehrpraxis – neben den individuellen Voraussetzungen der Lehrkräfte sowie schulischen Kontextbedingungen – maßgeblich von den Bedingungen des Fortbildungsangebotes, d.h. von den Zielen und der

Konzeption, abhängt (Krille, 2020). Dies ist systematisch im erweiterten Angebots-Nutzungs-Modell nach Lipowsky (2010, 2014) beschrieben, das strukturelle und inhaltlich-didaktische Merkmale wirksamer Lehrkräftefortbildungen differenziert.

Lipowsky (2010, 2014) beschreibt in Anlehnung an das klassische Angebots-Nutzungs-Modell aus der Unterrichtsforschung (Fend, 2008; Helmke, 2009) ein erweitertes Angebots-Nutzungs-Modell zur Beschreibung der Wirksamkeit von Fortbildungen und Professionalisierungsmaßnahmen für Lehrkräfte. Auf der Angebotsseite ergeben sich nach Krille (2020) und Lipowsky (2010) die Ziele und Konzeptionen von wirksamen Lehrkräftefortbildungen aus strukturellen Merkmalen (z.B. zeitliche Organisation), inhaltlichen Merkmalen (z.B. Lehrplanbezug, digitale Medien im Unterricht), den Aktivitäten im Rahmen der Fortbildung (z.B. Entwicklung und Erprobung von digitalem Unterrichtsmaterial sowie dessen Reflexion) und der Expertise der Fortbildenden (z.B. Erfahrungen zur Implementation digitaler Medien in Schülerlaborkursen). Die Nutzungsseite wird durch die Erfolgserwartung und den wahrgenommenen subjektiven Wert (auch i.S. einer Teilnahmemotivation) geprägt, die sich aus motivationalen Voraussetzungen (z.B. Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf digitale Medien im Unterricht), Persönlichkeitsmerkmalen (z.B. Gewissenhaftigkeit), kognitiven (z.B. Professionswissen im Bereich fachdidaktisches Wissen/PCK oder technisch-fachdidaktisches Wissen/TPaCK) und volitionalen Voraussetzungen (z.B. Selbstregulationsfähigkeiten) sowie der privaten und berufsbiographischen Situation (z.B. familiäre/berufliche Unterstützung) der teilnehmenden Lehrkräfte ergeben (Krille, 2020; Lipowsky, 2014). Aus dem Zusammenspiel beider Seiten ergeben sich eine Wahrnehmung des Fortbildungsangebots und eine dementsprechende Nutzung durch die Lehrkräfte. Hierbei kann „eine Passung zwischen dem Fortbildungsangebot und ihren Bedarfen oder Wünschen die Bereitschaft zu einer Teilnahme erhöhen“ (Schulze-Vorberg et al., 2021, S. 1115). Der Fortbildungserfolg ergibt sich aus Transferprozessen, die von schulischen Kontextfaktoren (Bedingungen in der Praxis) sowie der Transfermotivation der Lehrkräfte abhängen (Krille, 2020; Lipowsky, 2010). Weiter differenziert sich der Fortbildungserfolg in zwei lehrkräftebezogene und eine schüler*innenbezogene Ebene, nämlich die Ebene der Lehrer*innenmotivation (z.B. Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf digitale Medien im Unterricht) und -kognitionen (z.B. Veränderung im Professionswissen im Bereich fachdidaktisches Wissen/PCK oder technisch-fachdidaktisches Wissen/TPaCK), die Ebene des unterrichtspraktischen Handelns von Lehrkräften (z.B. Häufigkeit des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht) und die Ebene der Leistungen und Motivation von Schüler*innen (Lipowsky, 2014).

Bereits die älteren Befundübersichten (Huber & Radisch, 2010; Lipowsky, 2010) sowie die aktuellen Diskussionen (Lipowsky & Rzejak, 2021a, 2021b) legen einen Fokus auf die Berücksichtigung der Aneignungs- und Identifikationsprozesse seitens der Lehrkräfte (Altrichter, 2019).

Hier soll auf das klassische Angebots-Nutzungs-Modell (Fend, 2008; Helmke, 2009) in seiner Adaption für die Lehrkräftefortbildungen (Lipowsky, 2010) zurückgegriffen werden. Dies wird vor dem Hintergrund der zu entwickelnden Kompetenzen der Lehrkräfte (TPaCK & DiKoLAN) systematisch erweitert. Hierbei wird es neben der medienpädagogisch erforderlichen kompetenzorientierten Erweiterung des TPaCK-Modells i.S. eines DPaCK-Modells, das nicht nur Technikwissen, sondern auch Digitalität adressiert (Huwer et al., 2019), konkret um die Herausarbeitung von Gelingensbedingungen solcher im Schülerlabor situierten Settings für Lehrkräftefortbildungen gehen. Mit Blick auf den Anspruch des TPaCK- bzw. DPaCK-Modells ist von besonderer Bedeutung, wie die aktive Wissenskonstruktion aufseiten der Schüler*innen im Sinne des selbstregulierten Lernens in Experimentalumgebungen zu stärken ist.

Ein um die TPaCK/DPaCK- und DiKoLAN-Logiken sowie die Befunde zur Motivation und zu aktiver Wissenskonstruktion erweitertes Angebots-Nutzungs-Modell soll

dem Rechnung tragen. In einem zu entwickelnden „Referenzrahmen LFB-Labs-digital“ (Kap. 4.3.4) wird dies konzeptionell vorgenommen.

3 Ziele

Übergeordnetes Ziel des Kompetenzzentrum MINT des Bundes ist es, die mit der forschungsbasierten phasenübergreifenden Qualitätsentwicklung (Pasternack et al., 2017) der MINT-bezogenen Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften betrauten Einrichtungen sowie deren Transferanstrengungen zu unterstützen (vgl. Positionspapier der Landesinstitute und Qualitätseinrichtungen der Länder zum Transfer von Forschungswissen, 2018). Dies soll gemäß der „[l]ändergemeinsame[n] Eckpunkte zur Fortbildung von Lehrkräften als ein Bestandteil ihrer Professionalisierung in der dritten Phase der Lehrerbildung“ der Kultusministerkonferenz erfolgen (KMK, 2020). In Kooperation mit dem Kompetenzzentrum MINT des Bundes für die von der KMK (2020, S. 4) geforderte „Wissenschaftsbasierung der Fortbildungsangebote“ sind im Rahmen des Projekts LFB-Labs-digital Schülerlabore als Lernort für digital gestützte Lehrkräftefortbildungen und damit für das „Lehren und Lernen in der digitalen Welt“ (KMK, 2021) zu erschließen, um vermittelt hierüber die Motivation von Schüler*innen für die MINT-Fächer zu fördern. Hierzu soll konzeptionell (weiter-)entwickelt und erforscht werden,

1. welche Gestaltungsprinzipien bei Fortbildungsmaßnahmen am Lernort „Schülerlabor“ zu berücksichtigen sind, um – jeweils fachspezifisch – digitales und digital gestütztes Unterrichten in den MINT-Fächern zu fördern (Kap. 4.1.1–4.1.8);
2. welche digitalen bzw. digital gestützten Settings sowohl für Lehrkräfte (Kap. 4.2.1) als auch für Lehrkräfte und Schüler*innen motivierend wirken (Kap. 4.2.2);
3. inwiefern die Rahmung der Arbeit mit digitalen Experimenten durch Arbeitsanweisungs- und Protokollierungsumgebungen in digitalen bzw. digital gestützten Settings (Learning-Management-Systemen) bzw. in analogen Settings (Arbeits- und Protokollheft) aufseiten der Schüler*innen in unterschiedlichem Ausmaß zur aktiven Wissenskonstruktion anregt (lernförderliche IT-Infrastruktur) (Kap. 4.2.3);
4. welche Formatmerkmale von LFB für den Transfer solcher Good-Practice-Beispiele aus den Schülerlaboren sowohl hinsichtlich der professionellen Herausforderungen als auch der organisationalen Voraussetzungen des Fortbildungssystems Erfolg versprechend sind. Mit Blick auf die einzelnen beteiligten Schülerlabore (Kap. 4.1) fokussieren diese hierbei:
 - **Übergreifende Bildungsziele im Kontext von scientific literacy (insb. data literacy & critical digital literacy):**
 - kritischer Umgang mit *großen Datensätzen* (big data) (z.B. Phylogenetische Software MEGA; Kap. 4.1.6),
 - kritischer Umgang mit *digitalen Tools* mit kommerziellen Interfaces (z.B. Google Maps), *epistemischen Tools* und *Diskurs-Tools* (Kap. 4.1.8);
 - **Spezifika der Lehrkräftefortbildungsformate im Kontext von Schülerlaboren:**
 - synchrone und asynchrone Formate (Kap. 4.1.8) im Vergleich (Kap. 4.1.1) sowie flipped classrooms (Kap. 4.1.7),
 - adaptiv-modulare Lehrkräftefortbildungen (Kap. 4.1.3);
 - **Anwendungsspezifika digitaler Ressourcen in Schülerlaboren:**
 - Arbeit mit Simulationen (Kap. 4.1.4) und Verschränkung mit Realexperimenten (Kap. 4.1.2),
 - virtuelle Lernumgebungen und Begabungsdiagnostik (Kap. 4.1.3),

- Experimentiervideos für individuelle, selbstgesteuerte und kognitiv aktivierende Lernprozesse (Kap. 4.1.5);
- **Gelingensbedingungen & Implementationshürden:**
 - Adressierung des TPaCK-/DPaCK-Modells (Kap. 4.1.2, 4.1.4 & 4.1.7) sowie dessen Akzeptanz (Kap. 4.1.5 & 4.1.6) und Motivation bei den Lehrkräften (Kap. 4.2.2),
 - Bedarfe und Erwartungen hinsichtlich schülerlaborbezogener LFB (Kap. 4.2.1),
 - Konzeption und Bereitstellung lernförderlicher IT-Infrastrukturen (Kap. 4.3.1);
- 5. wie die Vertreter*innen aus den Lehrkräfteaus- und Lehrkräftefortbildungseinrichtungen Schulen in der Umsetzung und Nutzung digitaler Lehr- und Lernkonzepte in Schülerlaboren beraten und unterstützen können (Kap. 4.3);
- 6. wie die Vertreter*innen aus den Lehrkräfteaus- und Lehrkräftefortbildungseinrichtungen gemäß dieser Gelingensbedingungen den Schulen eine Orientierung für die digitale Schul- und Unterrichtsentwicklung sowie Personalentwicklung („Referenzrahmen LFB-Labs-digital“) geben können (Kap. 4.3).

Die Komplexität und Vielfalt der zu bearbeitenden Fragestellungen erfordern ein ebenso umfang- wie facettenreiches Gesamtvorhaben mit Expert*innen verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Struktur des konzipierten Gesamtvorhabens und führt die jeweiligen Einzelforschungsvorhaben genauer aus.

4 Die Forschungsvorhaben im Einzelnen

Entsprechend der vielfältigen Fragestellungen über diverse MINT-Domänen, Adressat*innenkreise und Systemebenen hinweg ergibt sich die komplexe Gesamtstruktur (vgl. Abb. 1) des vorliegenden Gesamtvorhabens aus 14 Einzelvorhaben und einem Implementierungsbeirat, welche die oben skizzierten Fragestellungen auf drei verschiedenen Ebenen adressieren:

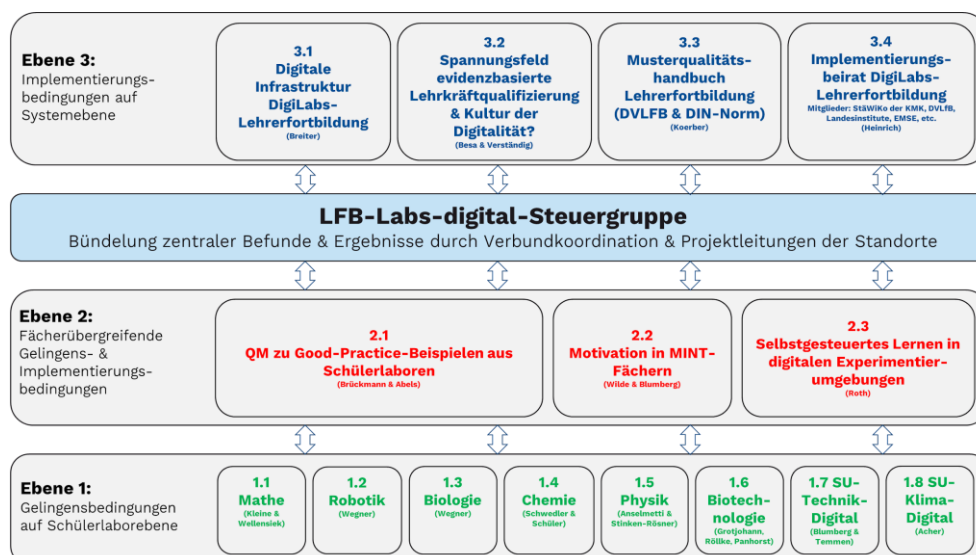


Abbildung 1: Gesamtstruktur des Verbundprojekts LFB-Labs-digital (eigene Darstellung)

Vereinfacht gesprochen werden auf Ebene 1 die Fortbildungen konzipiert, durchgeführt sowie Gelingensbedingungen auf der Schülerlaborebene erhoben. Projekte der Ebene 2

eruiieren fächerübergreifende Gelingens- und Implementierungsbedingungen, während sich die Forschenden der Ebene 3 den Implementierungsbedingungen auf Systemebene widmen. Dabei werden zentrale Befunde durch die Steuergruppe, bestehend aus der Verbundkoordination und den Projektleitungen der Standorte, gebündelt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Vorhaben erfolgt in den folgenden Abschnitten.

4.1 Ebene 1: Gelingensbedingungen auf Schülerlaborebene

Zentrales Anliegen des Verbundprojekts ist es, das Potenzial von Schülerlaboren für sequenzielle, transferstarke Lehrkräftefortbildungen zur Digitalisierung über die Vielfalt der MINT-Fächer und digitalen Werkzeuge hinweg zu eruieren.

Dazu werden in den MINT-Domänen durch multiprofessionelle Teams (Wissenschaftler*innen, Studierende und Lehrkräfte) Fortbildungen zu vorhandenen, digitalen Best-Practice-Beispielen konzipiert, durchgeführt und evaluiert. In den Fortbildungen wird eine an den Bedarfen der Lehrkräfte orientierte Wissensvermittlung mit der begleiteten Exploration im Schülerlabor und einer implementationsorientierten Reflexionsphase kombiniert. Anhand vorhandener Expertise zur Digitalisierung können die Lehrkräftefortbildungen, wie von Lipowsky (2010) gefordert, auf thematisch eng umrissene, fachdidaktische Problemstellungen zugeschnitten werden. Dies erfolgt in den jeweiligen Schülerlaboren unter einer fachspezifischen Fragestellung mit besonderem Akzent auf ein Format des digital gestützten Lehrens und Lernens. Die in dieses Projekt eingebundenen teutolabs (Mathematik, Robotik, Biologie, Chemie, Physik, Biotechnologie) sowie das Heinz Nixdorf MuseumsForum Paderborn mit dem coolMINT-Schülerlabor sind seit über 20 Jahren etabliert und führen Laborkurse für Schüler*innen, Begabtenförderung, vereinzelt bereits Lehrkräftefortbildungen sowie Public-Science-Events im In- und Ausland durch.

4.1.1 Schülerlabor Mathematik: Experimentelles Arbeiten im Mathematikunterricht der Klassen 5 und 6 – analog und digital

Experimente werden als Methode aufgefasst, die das Durchdringen mathematischer Zusammenhänge ermöglicht und den Lernprozess zu einem aktiv entdeckenden Lernen werden lässt (Freudenthal, 1973). Ausgangspunkt sind Thementage im teutolab-mathematik (z.B. Rekorde im Tierreich), bei denen Lernende an experimentellen Stationen mathematische Zusammenhänge aus verschiedenen Perspektiven durchleuchten (Kleine & Wellensiek, 2018). Ein Beispiel hierfür ist das Erleben von Relationen, indem man die Stärke einer Ameise mit seiner eigenen Stärke vergleicht und Lernende erkennen, dass sie in Bezug auf die Größenverhältnisse einer Ameise nicht einmal ansatzweise die Gewichte transportieren können, die Ameisen mühelos bewältigen. Nach wie vor gibt es einen Mangel an Erkenntnis, wie experimentelles Lernen in eine unterrichtliche Lernumgebung integriert werden kann (Lomax et al., 2017). Insbesondere ist unklar, wie sich Formate der Vermittlung (analog – digital, synchron – asynchron) auf das Wissen und Handeln von Lehrkräften auswirken.

Ziel ist es, Zugangsweisen zu experimentellem Arbeiten in der Schule in unterschiedlichen analogen und digitalen Formaten zu untersuchen. Dabei stehen die Umsetzungsbedingungen für den Unterricht im Fokus, wie sie von Lehrkräften erfahren werden. Insbesondere Akzeptanz, Selbstwirksamkeit und didaktisches Wissen in Bezug auf analoge und digitale Formate sollen mit den Zugangsweisen verschränkt werden.

Auf Basis eigener Vorarbeiten wird eine modularisierte Fortbildung entwickelt, bei der drei inhaltlich analog ablaufende Module zu verschiedenen experimentellen Themen aus dem teutolab-mathematik in (M1) digital-synchroner, (M2) digital-asynchroner sowie (M3) analog-synchroner Weise den Lehrkräften angeboten werden. Jedes Modul besteht aus einem Input, einer Erarbeitungs- sowie einer Beobachtungs- und Reflexionsphase der Lehrkräfte. Nach den Modulen sollen die experimentellen Zugänge im eigenen

Unterricht implementiert werden. Eine Reflexion hinsichtlich der Implementation sowie die Verschränkung mit den Zugangsweisen beschließen die Fortbildung. Die Fortbildung wird begleitet von Fragebögen entsprechend eines Prä-Post-Kontrollgruppendesigns.

4.1.2 Schülerlabor Robotik: Einbettung von Simulationen und Realexperimenten im teutolab-robotik – Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Implementation

Die Kombination aus Simulationen und anderen Lernmethoden wie dem Realexperiment kann einen positiven Einfluss auf Lerneffekte ausüben und unterstützt Lernende dabei, naturwissenschaftliche Phänomene besser zu verstehen (Landriscina, 2013; Reddy & Mint, 2017). Jedoch nutzen lediglich ca. 50 Prozent der unter 40-jährigen Lehrkräfte Simulationen im Unterricht (Henne et al., 2021). Als Gründe für die fehlende Einbindung werden unter anderem die geringe Unterstützung bei der Nutzung und ein Fehlen von adäquaten pädagogischen Konzepten für die sinnstiftende Einbindung in den Unterricht identifiziert (Kabaum & Anders, 2020). Um Simulationen zukünftig sinnstiftend in den MINT-Unterricht einzubinden, bedarf es weiterer Forschung.

Dieses Projekt soll weitere Implementationsbarrieren für die Kombination von Simulationen und Realexperimenten im MINT-Unterricht erkennen. Zudem soll eruiert werden, inwiefern die Teilnahme an einer Lehrkräftefortbildung zum Thema „Simulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht“, in welcher der Umgang mit Simulationen und die angeleitete Entwicklung, Erprobung und Reflexion von digitalen Unterrichtskonzepten praktiziert werden, einen positiven Einfluss auf die Einsatzbereitschaft der Lehrkräfte der Kombinationen hat.

Im Sinne des Design-Based Research werden Fortbildungsangebote für den Einsatz im Schülerlabor geschaffen und wissenschaftlich begleitet. Hierbei wird einerseits das Format der Fortbildung untersucht, bei dessen Entwicklung Lehrkräfte systematisch eingebunden wurden; andererseits werden nach jeder Iteration die eingesetzten Unterrichtseinheiten weiterentwickelt. In Phase 1 erhalten Lehrkräfte in interdisziplinären Teams einen theoretischen und praktischen Einblick in den Umgang mit interaktiven Simulationen. Zudem entwickeln Lehrkräfte simulationsgestützte Unterrichtseinheiten und erproben diese in authentischen Settings im teutolab-robotik. Anschließend werden diese Konzepte in Phase 2 in einem iterativen Prozess auf den eigenen Unterricht adaptiert und durch universitäre Akteure erprobt und anschließend in Phase 3 in der Gruppe reflektiert. Die Interventionen werden durch Interviewstudien, Beobachtungen und Fragebogenerhebungen begleitet.

4.1.3 Schülerlabor Biologie: Digitale Begabungsförderung im Biologieunterricht – Implementation virtueller Lernumgebungen

Verschiedene bildungspolitische Organisationen, u.a. die KMK, fordern den Einsatz von digitalen Methoden für die individuelle Begabungsförderung von Schüler*innen (Middendorf, 2022). Hierbei werden digitale Lernumgebungen durch ihren konstruktivistischen Charakter als besonders geeignet angesehen, da sie Möglichkeiten zur Diagnostik und Förderung begabter Schüler*innen bieten (Schäfers et al., 2020). Dabei wird beobachtet, dass großer Handlungsbedarf in Bezug auf die Schnittstelle Medienpädagogik – Fachwissenschaften – Fachdidaktik (Haider & Knoth, 2022) besteht, dem durch fachspezifische Lehrkräftefortbildungen entgegengewirkt wird.

Ziel des Projekts ist es, im Rahmen eines Fortbildungskonzepts für Lehrkräfte zum Einsatz von digitalen Methoden zur fachspezifischen Begabungsförderung, Gelingensbedingungen und Barrieren für die praxisnahe Implementierung der Konzepte des Schülerlabors Kolumbus-Kids zu ermitteln und so die ausgemachte Lücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen (Haider & Knoth, 2022).

Dazu wird eine hybride Lehrkräftefortbildung im Schülerlabor Kolumbus-Kids zur Förderung begabter Schüler*innen im Biologieunterricht durch digitale Lehr- und Lernmethoden angeboten. In dieser werden bestehende Materialien des Schülerlabors adaptiert und an den Gebrauch im Schulalltag angepasst. Zunächst werden theoretische Grundlagen der Begabungsförderung im Biologieunterricht erarbeitet (Phase 1). In Sitzung 2 werden verschiedene digitale Methoden zur naturwissenschaftlichen Begabungsförderung vorgestellt und für den Einsatz im Biologieunterricht reflektiert. Anschließend erfolgt eine Erprobungsphase, in welcher die teilnehmenden Lehrkräfte die erarbeiteten Methoden in ihrem eigenen Unterricht einsetzen sollen (Phase 2). In einer abschließenden Sitzung werden die Erfahrungen der Lehrkräfte gesammelt und der Einsatz der digitalen Methoden reflektiert (Phase 3). Die Interventionen werden durch eine Interviewstudie, Beobachtungen und Fragebogenerhebungen begleitet.

4.1.4 Schülerlabor Chemie: Lernen mit Simulationen – Chancen und Grenzen projektbasierter Implementation

Um modellbasierte Simulationen als wirkmächtige Instrumente zur Analyse komplexer Systeme (z.B. Klima, Vielteilchensysteme) verständnisfördernd in der Lehre einzusetzen, bedarf es Lernsettings, die sich an epistemischen Modellierungsschritten orientieren (Landriscina, 2013) und kognitives Engagement gezielt unterstützen (Chi & Wylie, 2014). Obwohl zahlreich vorhandene Moleküldynamiksimulationen submikroskopische Prozesse erfahrbar machen können, haben (angehende) Chemielehrkräfte meist wenig Erfahrung mit Simulationen (Vogelsang et al., 2019). Es fehlen Erkenntnisse zu Bedarfen und Barrieren bezüglich ihres Einsatzes.

Ziel des Teilprojekts ist es, Unterstützungsbedarfe und Implementationsbarrieren bezüglich Moleküldynamiksimulationen zu identifizieren und zudem zu eruieren, inwieweit projektbasiertes Lernen (Krajcik & Blumenfeld, 2006) von Lehrkräften im Schülerlabor die Überwindung dieser Barrieren unterstützt sowie Akzeptanz, Selbstwirksamkeit und didaktisches Wissen der Lehrkräfte zu Simulationen fördert.

Auf der Basis eigener Vorarbeiten zum Lernen mit Simulationen wird eine sequenzielle, projektbasierte Fortbildung per Design-Based Research entwickelt. Nach sachbezogenen Inputs und aktiver Erarbeitung der theoretischen Grundlagen (Phase 1) arbeiten die teilnehmenden Lehrkräfte gemeinsam mit Wissenschaftler*innen und Studierenden in multiprofessionellen Teams projektbasiert an der Einbindung von Moleküldynamiksimulationen in Lernsettings des Schülerlabors teutolab-chemie (Phase 2), bevor sie die generierten Lernsettings mit ihren eigenen Schüler*innen im teutolab-chemie erproben (TPaCK, Phase 3). In Phase 4 wird die Erprobung reflektiert und auf den eigenen Unterricht übertragen.

Das Fortbildungskonzept wird mit Lehrkräften erprobt und evaluiert, anschließend optimiert und erneut durchgeführt. Beide Interventionsiterationen werden durch Einzelfallstudien während und einige Monate nach der Fortbildung (Interviews, teilnehmende Beobachtung, Analyse der Arbeitsergebnisse) sowie Fragebögen im Prä-Post-Design begleitet.

4.1.5 Schülerlabor Physik: Lernen mit (interaktiven) Experimentiervideos – Herausforderungen und Potenziale von Communities of Practice in der akteurübergreifenden Lehrkräftebildung

(Interaktive) Experimentiervideos bieten vielfältige Lerngelegenheiten für den Physikunterricht, da durch ihren Einsatz individuelle, selbstgesteuerte und kognitiv aktivierende Lernprozesse ausgelöst werden können (Chi & Wylie, 2014). Sie werden bisher jedoch vorwiegend als Ersatz für Realexperimente eingesetzt (Meier et al., 2022). Dies lässt den Schluss zu, dass ihr Potenzial von Lehrkräften aktuell nicht ausgeschöpft wird.

Das Schülerlabor teutolab-physik verfolgt daher das Ziel, Implementationsbarrieren und Gelingensbedingungen für den Einsatz von (interaktiven) Experimentiervideos in der Praxis zu identifizieren sowie zu untersuchen, welche Effekte die Auseinandersetzung mit jenen auf die Selbstwirksamkeitserwartung, die Akzeptanz und das professionelle Wissen (TPaCK) der Lehrkräfte hat.

Dazu wird eine Lehrkräftefortbildung konzipiert, in der die Teilnehmer*innen im Rahmen einer Community of Practice mit variierender Zusammensetzung (interaktive) Experimentiervideos unter fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Gesichtspunkten entwickeln und deren Einsatz erproben. Das Fortbildungskonzept sieht vor, dass die Teilnehmer*innen zunächst eine inhaltliche Einführung in das Medium (interaktives) Experimentiervideo erhalten. Dabei lernen sie u.a., wie Videos sinnvoll in den Physikunterricht eingebunden werden können, und drehen erste Experimentiervideos (Phase 1). Anschließend werden Tools zur Ergänzung interaktiver Elemente thematisiert und auf die eigenen Videos angewendet (Phase 2). Zuletzt wird der Einsatz der Videos von den Teilnehmer*innen mit einer eigenen Schulklasse im Schülerlabor erprobt (Phase 3). Des Weiteren erfolgt eine gemeinsame Reflexion hinsichtlich Produktion, Einsatz und Transfer in die Schulpraxis. Die Fortbildung wird mit einer Studie im Prä-Post-Design begleitet. Hierfür werden standardisierte Fragebögen und (retrospektive) Interviews verwendet, teilnehmende Beobachtungen durchgeführt sowie die entstandenen Produkte analysiert.

4.1.6 Schülerlabor Biotechnologie: Arbeiten mit phylogenetischer Software – Vernetzung von Genetik und Evolution

Eine Vernetzung von Inhalten führt zu anwendbarem und zur Vermeidung trägen Wissens (Nerdel, 2017). Im Biologieunterricht findet diese jedoch kaum statt (Wadouh et al., 2009), obwohl Baalman et al. (2004) die Notwendigkeit des Kontextes Evolution für den Genetikunterricht gezeigt haben und mit dem Inkrafttreten des neuen Kernlehrplans für das Fach Biologie in Nordrhein-Westfalen (NRW) im August 2022 die zuvor getrennten Inhaltsfelder Genetik und Evolution zu einem zusammengefasst werden. Biologielehrkräfte sollten daher hinsichtlich der vertikalen Vernetzung fortgebildet werden. In der Biotechnologie spielen softwarebasierte Analysen eine große Rolle: Mittels computergestützter phylogenetischer Software lassen sich molekulare Daten in einem evolutionären Kontext untersuchen.

Die dafür erforderlichen, zumeist aber nicht vorhandenen informatischen Kompetenzen (TK, TCK) müssen durch lehrkräfte(fort)bildende Einrichtungen gefördert werden (van Ackeren et al., 2019). Es werden Voraussetzungen und Bedingungen für die Anwendung phylogenetischer Software identifiziert. Lehrkräfte lernen, mithilfe der Software genetische und phylogenetische Analysen durchzuführen und zu entwickeln. Zudem wird eruiert, inwiefern die Durchführung der Lehrkräftefortbildungen das TPaCK-Selbstkonzept der Biologielehrkräfte fördert.

Bei der dreigliedrigen LFB erarbeiten sich die Lehrkräfte zunächst die bioinformatischen Inhalte in einem E-Learning-Modul (Panhorst & Buschmann, 2021). Im Anschluss führen sie mit ihren Schüler*innen das 2022 mit dem LeLa-Preis² ausgezeichnete Angebot „Evolution von Coronaviren“ im Schülerlabor durch. Im dritten Teil erfolgt die Entwicklung eigenen Unterrichtsmaterials in kollegialer Zusammenarbeit mit Unterstützung der Wissenschaftler*innen des Schülerlabors. Die Erhebung des TPaCK-Selbstkonzepts erfolgt im Prä-Post-Kontrollgruppendesign.

² Es handelt sich um einen jährlich von „LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e.V.“ vergebenen Preis für Schülerlabore; siehe z.B. <https://www.lernortlabor.de/LeLa-Preis-Ausschreibung2024>.

4.1.7 Schülerlabor coolMINT (im Sachunterricht): Digital gestützte Einbindung außerschulischer Lernorte in den naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht

Während die naturwissenschaftlichen Kompetenzen der Viertklässler*innen sinken, bleibt die Fortbildungsquote der Sachunterrichtslehrkräfte zur Integration von Informationstechnologien niedrig (Schwippert et al., 2020). Die Ausbildung von Medienkompetenzen wie die digitale Visualisierung von Lernergebnissen werden überfachlich und für den Sachunterricht gefordert (GDSU, 2013; Medienberatung NRW, 2020). Um die Medienkompetenzen von Schüler*innen bereits früh auszubilden, kommt den Grundschulen eine bedeutsame Rolle zu (Herzig, 2020). Der Einsatz digitaler Medien (Blumberg & Sicking, 2020) und die Chancen der Einbindung außerschulischer Lernorte (Schiefer et al., 2020) werden in Kombination im Sachunterricht bislang nicht genutzt. Eine solche potenziell lern- und motivationsfördernde Verbindung bietet die digitale Dokumentation und Präsentation im Sachunterricht (Hampf, 2022).

Hauptziel ist es, einen langfristigen Einsatz digitaler Tools zur Projektdokumentation im Sachunterricht zu fördern. Darüber hinaus sollen die Motivation der Schüler*innen im naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht gesteigert sowie die Akzeptanz, die Selbstwirksamkeit und das professionelle Wissen (TPaCK) der Lehrkräfte gefördert werden.

Das Lehrkräftefortbildungskonzept umfasst drei Phasen: In der ersten Phase werden mit den Sachunterrichtslehrkräften verschiedene Tools für digitale Präsentationen erarbeitet. Die zweite Phase besteht aus einer praktischen Erprobung, bei der die Lehrkräfte mit ihren Lerngruppen in Verbindung mit einem Besuch im Paderborner Schülerlabor „coolMINT“ die Tools zur Dokumentation eines Unterrichtsprojekts zu „Wind und Windkraftenergie“ nutzen. Abschließend erfolgt eine gemeinsame Reflexion zum Einsatz der Tools. Zur Evaluierung werden vorrangig quantitativ angelegte Fragebögen im Prä-Post-Design eingesetzt und die im Rahmen der LFB entstandenen Produkte qualitativ analysiert.

4.1.8 Digitales Lernen in modellbasierten Untersuchungen:

Eine Lehrkräftefortbildung für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht zum Thema Klimawandel

Modellbasierte Untersuchungen (MBU) umfassen naturwissenschaftliche Praktiken des Sachunterrichts wie Modellkonstruktion und -evaluierung (Schwartz et al., 2009), die eine Vielzahl von Möglichkeiten und Herausforderungen für die digitale Integration im Unterricht bieten. Die vorliegende Lehrkräftefortbildung basiert auf Lehrpraktiken für MBU, die die digitalen Routinen der Schüler*innen integrieren, um Grundschullehrer*innen bei diesen Herausforderungen zu unterstützen.

Dabei kann bereits auf Expertise in Design und Evaluierung didaktischer Unterstützungen für die Professionalisierung der Grundschullehrer*innen mit diesen Lehrpraktiken zurückgegriffen werden (Télliz-Acosta et al., 2023), um das Verständnis des Phänomens Klimawandel im Sachunterricht zu fördern. Diese Unterstützungen bilden die Grundlage für die vorgestellten Lehrerfortbildungsaktivitäten. Drei verschiedene Arten von *Tools* werden in diese Unterstützungen eingebunden: *digitale Tools* wie iPads mit kommerziellen Interfaces (z.B. Google Maps), um das Verständnis von Klimavariablen zu unterstützen; *epistemische Tools*, um ein Verständnis für die natürliche Umwelt zu entwickeln; und *Diskurs-Tools*, um die Partizipation von heterogenen Gruppen von Schüler*innen zu fördern.

Die didaktischen Unterstützungen mit den zugehörigen Tools und Aktivitäten werden in iterativen Zyklen des Design-Based Research (Reinmann, 2022) eingesetzt. Die Professionalisierung der Lehrkräfte entwickelt sich im Wechsel zwischen Remote-Phasen

und Aktivitäten in Präsenz. Die Diskurse und materiellen Repräsentationen der Lehrkräfte werden mit Hilfe der analytischen Kategorien des *Professional Vision Frameworks* (Goodwin, 1994) analysiert. Auf diese Weise wird Evidenz geschaffen, um die didaktischen Unterstützungsmaßnahmen weiterzuentwickeln. Darüber hinaus werden gemeinsam mit den Lehrkräften die Lernumgebungen dieser Unterrichtspraktiken im ständigen Austausch zwischen dem „Sachunterricht-Schülerlabor“ und ihrem Unterrichten problematisiert.

4.2 Ebene 2: Fächerübergreifende Gelingens- und Implementierungsbedingungen

Auf der Grundlage des breiten Spektrums der Lehrkräftefortbildungen und zugehöriger Begleitforschung (Ebene 1) kann auf Ebene 2 fächer- und werkzeugübergreifend (Kap. 4.2.1) systematisch untersucht werden, welche Implementationsbarrieren bezüglich digitaler Konzepte, Anwendungen und Infrastrukturen auftreten, unter welchen Gelingensbedingungen sich Fortbildungen in Schülerlaboren als wirkmächtig hinsichtlich des im Modus des „Nacherfindens“ (Kussau, 2007) zu denkenden Praxis- bzw. Evidenztransfers (Heinrich & Klewin, 2019) erweisen und wie hier auf einer medienwissenschaftlich kritischen Folie (Kap. 4.3.2) motivationale Aspekte (Kap. 4.2.2) und selbstgesteuertes Lernen (Kap. 4.2.3) berücksichtigt werden können.

4.2.1 Qualitätsmanagement zu Good-Practice-Beispielen aus den Schülerlaboren

Das Qualitätsmanagement (QM) spielt eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung von Lehrkräftefortbildungen (Koerber, 2015), um eine erprobte Grundlage für die Optimierung, Innovation und Standardisierung von Lehrkräftefortbildungen zu schaffen. Im Projekt LFB-Labs-digital fokussiert es den Austausch und die Evaluation von Good-Practice-Beispielen zwischen den Lehrkräftefortbildungen. Das Angebots-Nutzungsmodell verdeutlicht die multifaktoriellen Einflussfaktoren von Lehrkräftefortbildungen (Lipowsky, 2010). Sowohl die Angebotsseite, d.h. die Fortbildner*innen, als auch die Nutzungsseite, d.h. die Lehrkräfte, beeinflussen die Wirksamkeit.

Ziel des QMs ist die Synthese von Best-Practice-Beispielen aus den Lehrkräftefortbildungen. Folgende Forschungsfragen stehen im Mittelpunkt:

1. Wie lassen sich Good-Practice-Beispiele der Lehrkräftefortbildungen durch Austauschformate weiterentwickeln?
2. Welche Best-Practice-Beispiele zeichnen die Lehrkräftefortbildungen aus?
3. Welche Rolle spielen die Fortbildner*innen für den Fortbildungserfolg?
4. Wie nehmen die Lehrkräfte die Fortbildungen wahr?

Ausgangspunkt bildet ein Design-Based-Research-Ansatz, der sowohl die Möglichkeit der zyklischen, iterativen Weiterentwicklung der Good-Practice Beispiele als auch eines *Mixed-Methods*-Ansatzes bietet (Reinmann, 2022). Protokolle von Austauschformaten (z.B. Ideation Jam, Webtalks, Shadowing-Prozesse) geben Einblicke in die Angebotsseite. Die Nutzungsseite wird evaluiert, indem die Lehrkräfte zu ihren Erwartungen und Wünschen (Prä) sowie zur Relevanz, Nachhaltigkeit und kognitiven Aktivierung (Post) befragt werden. Dafür werden gekürzte und auf den digitalen Unterricht adaptierte Skalen des IMPRESS-Fragebogens genutzt, z.B. „Ich empfinde die Inhalte des Fortbildungsprogramms als hilfreich für meinen schulischen Alltag“ für die Relevanz der Fortbildung (Rzejak et al., 2023). Der IMPRESS-Fragebogen kann außerdem für eine Post-Befragung der Fortbildner*innen genutzt werden, um die Wirkung der Angebots- und Nutzungsseite genauer zu untersuchen.

4.2.2 Motivation in MINT-Fächern

Seit Beginn der Schülerlaborbewegung steht die Frage nach der motivationalen Wirkung von Schülerlaboren auf Schüler*innen im Fokus ihrer Begleitforschung. Auch in der ersten Phase der Lehramtsausbildung werden diese Lernorte eingesetzt und beforscht (Scharfenberg et al., 2019). Die bisherigen Forschungsergebnisse deuten auf ein großes motivationsförderliches Potenzial dieser Lernorte hin (z.B. Kirchhoff, Randler et al., 2023), welches auch für Lehrkräftefortbildungen bestehen könnte. Hier werden Schülerlabore jedoch bisher kaum genutzt (Brüning et al., 2020), sodass die motivationale Wirkung von LFB in Schülerlaboren unklar ist.

In diesem Teilprojekt soll daher die motivationale Wirkung der im Verbundprojekt konzipierten LFB auf die teilnehmenden Lehrkräfte sowie ihre Schüler*innen untersucht werden.

Hierzu sollen im Prä-Post-Design motivationale Variablen beider Zielgruppen mittels Fragebogen erhoben werden. Die Lehrkräfte werden im Prätest zu ihrer intrinsischen Motivation (Thomas et al., 2018) und Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz digitaler Medien (vgl. Beierlein et al., 2012; Jerusalem & Schwarzer, 1999) befragt. Im Posttest werden neben der Selbstwirksamkeitserwartung die Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse, die Wahrnehmung von Autonomie, Kompetenz und sozialer Einbindung (Van den Broeck et al., 2010) und die intrinsische Motivation (Wilde et al., 2009) während der LFB im Schülerlabor erfasst. Die Schüler*innen werden im Prätest zu ihrem Fachinteresse (vgl. Frey et al., 2009), ihrer intrinsischen und extrinsischen Motivation (Thomas & Müller, 2016) im regulären Unterricht des jeweiligen Faches, ihrem bereichsspezifischen Fähigkeitsselbstkonzept sowie ihrer fach- und themenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartung (Blumberg, 2008; Blumberg et al., 2019) befragt. Im Posttest werden das situationale Interesse (vgl. Großmann & Wilde, 2020; Kaiser et al., 2023) und die intrinsische Motivation (Wilde et al., 2009) sowie die im Prätest genutzten Skalen zum Fähigkeitsselbstkonzept und zur Selbstwirksamkeitserwartung erhoben.

4.2.3 Selbstgesteuertes Lernen in digitalen Experimentierumgebungen

Qualitätskriterien für (digitale) Experimentierumgebungen (Roth, 2022) fordern, dass Lernende durch geeignete Impulse zu Prozessen aktiver Wissenskonstruktionen angeregt werden. Dazu gehören im Besonderen Arbeitsanweisungen, die die Lernenden durch eine Experimentierumgebung führen. Gerade in digitalen Settings sind entscheidende Gelingensbedingungen, ob die Arbeitsanweisungen explizit auf die digitalen Technologien und damit intendierte Tätigkeiten Bezug nehmen (De Jong & Lazonder, 2014), Impulse zur Reflexion über das Erarbeitete geben sowie die Lernenden zur Protokollierung von Vorgehensweise und Ergebnissen animieren (Schumacher & Roth, 2015). Derartige Settings fördern nachweislich die Kompetenzentwicklung von Lernenden mit großen Effekten (Digel et al., 2023; Lichti & Roth, 2018, 2020).

Im Rahmen des Teilprojekts „Selbstgesteuertes Lernen in digitalen Experimentierumgebungen“ wird der Frage nachgegangen, ob die Berücksichtigung solcher Qualitätskriterien in Schülerlabor-Experimentierumgebungen sich in der wahrgenommenen Praxisrelevanz von Lehrkräften, die an dazugehörigen Schülerlabor-Fortbildungen teilnehmen, widerspiegelt. Dazu werden die Experimentierumgebungen hinsichtlich der Qualitätskriterien querschnittlich analysiert und die Fortbildungen mittels eines Lehrkräftefragebogens sowie Interviews mit zufällig gezogenen Lehrkräften evaluiert.

4.3 Ebene 3: Implementierungsbedingungen auf Systemebene

Die evaluative Bestimmung der Gelingensbedingungen der Lehrkräftefortbildungen erfolgt einerseits im Rahmen der einzelnen Teilvorhaben im iterativen Prozess gemäß Design-Based Research. Andererseits werden projektübergreifend systemische Imple-

mentierungsbedingungen durch die Teilprojekte der Ebene 3 adressiert, die in Abstimmung mit der Steuergruppe Diskussionsvorlagen für den Implementierungsbeirat (siehe Kap. 4.3.4) bereitstellen.

4.3.1 Unterstützung des Erwerbs digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Lehrkräften durch eine lernförderliche digitale Infrastruktur

Bildungstechnologien werden als notwendige Bedingung zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen betrachtet (Brummelhuis & Kuiper, 2008). Um diese Kompetenzen nicht nur bei Schüler*innen, sondern auch bei Lehrkräften nachhaltig zu fördern, ist es notwendig, eine lernförderliche digitale Infrastruktur für Lehr-Lernszenarien zu etablieren, um eine effektive Integration von Medien in Bildungsprozesse zu gewährleisten (Brüggemann & Breiter, 2016). Eine solche lernförderliche digitale Infrastruktur umfasst die Wechselwirkung von Hardware, Software und zentralen Diensten. Sie gewährleistet, dass Ressourcen leicht zugänglich, barrierefrei und im Bildungskontext sinnvoll nutzbar sind, wobei sowohl technischer als auch pädagogischer Support zur Verfügung steht (Breiter et al., 2015).

Ziel ist es, eine umfassende *Soll*-Konzeption einer lernförderlichen digitalen Infrastruktur für die projektintegrierten Schülerlabore zu entwickeln, die anstrebt, den Erwerb digitaler Kompetenzen bei Lehrkräften innerhalb der Fortbildungen zu unterstützen. Diese Konzeption wird als generisches Modell entworfen, das Gelingensbedingungen für den Aufbau und die Weiterentwicklung der digitalen Infrastruktur aufzeigt. Dabei definiert die *Soll*-Konzeption entsprechende Anforderungen an Standards für eine Basisinfrastruktur, die auch für die zukünftige Planung digitaler Infrastrukturen der Schulen Nordrhein-Westfalens genutzt werden können, um eine reibungslose Umsetzung der erworbenen Fortbildungsinhalte in die schulische Praxis zu gewährleisten.

In einem ersten Schritt wird in den projektinternen Laboren eine Bestandsaufnahme der jeweils bestehenden digitalen Infrastrukturen durchgeführt. Dies geschieht im Kontext von Einzelfallstudien (Yin, 2014) anhand von leitfadengestützten Interviews (Helfferich, 2011) mit den Laborleiter*innen. Einem partizipativen Ansatz folgend werden, in weiterer Zusammenarbeit mit den Laborleiter*innen, die Ergebnisse in die *Soll*-Konzeption überführt. Diese dient als Ausgangspunkt für eine kontinuierliche und iterative Weiterentwicklung.

4.3.2 Relevanz und aktuelle Grenzen von Evidenzbasierung für Lehrkräftefortbildung in einer Kultur der Digitalität

Das Teilprojekt widmet sich den neuen Herausforderungen und Chancen, die sich durch die Digitalität für die evidenzorientierte Aufbereitung und Weiterentwicklung der Fortbildungsangebote für Lehrkräfte ergeben. Der Fokus dieser Begleitforschung liegt, neben der Evaluation der evidenzbasierten Gestaltung der Fortbildungsangebote, ebenfalls auf der Frage, welche Prämissen zur Digitalität vorherrschen. Die von der KMK (2020, S. 4) geforderte „Wissenschaftsbasierung der Fortbildungsangebote“ betrifft die LFB in zweifacher Weise: Die zu vermittelnden Inhalte der Fortbildung sind sowohl wissenschaftlich zu belegen als auch die Fortbildungen selbst entsprechend evidenzorientiert zu gestalten bzw. hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu überprüfen. So wird eine Abgrenzung sowie Erweiterung des von Lehrkräften deutlich präferierten Erfahrungswissens (Bromme, 2014; Hinzke et al., 2020) gegenüber mit wissenschaftlicher Methodik erworbenen Erkenntnissen ermöglicht.

Zu eruieren ist hierbei aber, wie die aktuellen – auf klassischer LFB-Forschung basierenden – Evidenzen auch zukünftig genutzt werden können. In einer Kultur der Digitalität (Stalder, 2016, 2021) überholt die nonformale, selbstorganisierte LFB die öffentlich vom System angebotene Fortbildung. Eine produktive Verschränkung der Erfahrungs- und Kulturräume (Verständig, 2020; Verständig & Stricker, 2023) ist daher nötig, um

einen Beitrag zur Steigerung der Prozessqualität von LFB im Horizont der Digitalität leisten zu können. Methodisch soll dies durch Design-Based Research praxisnah und ko-konstruktiv realisiert werden. In der Begleitforschung werden durch Befragungen gezielt die Rahmenbedingungen der LFB sowie die Voraussetzungen auf Lehrkräfteseite (z.B. Einstellungen zu Digitalen Medien; vgl. Besa et al., 2021) berücksichtigt.

4.3.3 Qualitätshandbücher Lehrkräftefortbildungen

Qualitätshandbücher erfüllen verschiedene Funktionen des Qualitätsmanagements, wie z.B. Dokumentation, Kontrolle, Reflexion und Transparenz (Bittorf, 2008). Allein deren Erstellung führt häufig zu Verbesserungen organisationaler Prozesse, da eine explizite Auseinandersetzung mit diesen vonnöten ist (Dybkaer et al., 1993). In der Lehrkräftefortbildung kann Qualitätsmanagement dabei helfen, die organisationalen Rahmenbedingungen für eine wirksamkeitsorientierte Fortbildungskonzeption (Lipowsky & Rzejak, 2021a, 2021b) zu schaffen. Wirksame Lehrkräftefortbildungen führen zu einer Weiterentwicklung des Lernens und der Motivation der Schüler*innen, was durch eine „Veränderung unterrichtlichen Handelns der Lehrpersonen“ (Rzejak, 2023, S. 3) hervorgerufen wird. Die relativ neue DIN 33459 (Deutsches Institut für Normung, 2021) wurde bislang noch keiner rigorosen Prüfung hinsichtlich ihrer Tauglichkeit als Standard für wirksame Lehrkräftefortbildungen unterzogen.

Auf Grundlage der DIN 33459 entstehen Qualitätshandbücher, die den Schülerlaboren dabei helfen sollen, die Qualität der eigenen Arbeit zu identifizieren, zu dokumentieren und weiterzuentwickeln. Hierbei wird einerseits überprüft, wie praktikabel die Anwendung der DIN für das Qualitätsmanagement von Orten der (digital gestützten) Lehrkräftefortbildung ist. Andererseits soll untersucht werden, welches Selbstverständnis Beschäftigte in der Lehrkräftefortbildung hinsichtlich der Qualitätsaspekte ihrer eigenen Arbeit haben.

Mittels zu diesem Zwecke durchgeführter Interviews werden die Qualitätshandbücher erstellt und in einem iterativen Vorgang den Bedürfnissen des jeweiligen Labors angepasst. Die Qualitätshandbücher werden dann auf ihre Vereinbarkeit mit der DIN 33459 geprüft und die Arbeit der Labore im Rahmen eines später stattfindenden Audits auf ihre Anwendung hin begutachtet. Die hieraus generierten Erkenntnisse können schließlich im Rahmen von Good-Practice-Ansätzen von anderen Fortbildungsorganisationen genutzt werden.

4.3.4 Implementierungsbeirat

Wie Bestandsaufnahmen zum Fortbildungsbereich in den einzelnen Bundesländern zeigen (z.B. DVLFb, 2018; Ramboll, 2022), ist dieser durch komplexe Akteur*innenkonstellationen gekennzeichnet, an denen Ministerien, weitere Einrichtungen wie Landesinstitute, Lehrerfortbildungsinstitute, Akademien, die Schulämter sowie Anbieter wie Universitäten und Hochschulen, Kirchen und freie Träger beteiligt sind. Die Strukturen gelten dabei z.T. als unübersichtlich (für NRW: Altrichter et al., 2019). Insbesondere die Rolle und Bedeutung der Universitäten und Hochschulen variiert stark. Die Berücksichtigung der Governance (Altrichter et al., 2007) der Lehrkräftefortbildung erscheint insofern als wesentlicher Teilaspekt des Verbundprojekts.

Auf Projektebene 3 werden systematisch die Implementierungsbedingungen für (universitäre) Fortbildungsangebote auf Systemebene in den Blick genommen. Der Implementierungsbeirat unterstützt den geplanten Transfer prozessbegleitend durch die in ihm versammelte feldspezifische Expertise aus Wissenschaft und Praxis.

Der Implementierungsbeirat besteht aus (ehemaligen) (Leitungs-)Mitgliedern von Landesinstituten und Qualitätsagenturen, dem Deutschen Verein zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung, der ständigen Wissenschaftlichen Kommission der KMK sowie aus (ehemaligen) Vertreter*innen der Bildungspolitik. Zu den zentralen

Aufgaben des Beirats gehören (1) die governanceanalytische Kontrastierung ausgewählter Fortbildungssysteme der Bundesländer im Hinblick auf Möglichkeiten des Transfers universitärer Fortbildungsangebote, (2) die konzeptionelle und transferbezogene Prüfung der in den Teilprojekten entwickelten Good-Practice-Beispiele sowie (3) die Unterstützung der Entwicklung eines „Referenzrahmens LFB-Labs-digital“. Dazu kooperiert der Beirat u.a. mit der Transferstelle Bielefeld Bildung digital (TraBBi-digital: https://www.uni-bielefeld.de/einrichtungen/bised/forschung-entwicklung/digitalisierung/trabbi_digital/index.xml).

5 Fazit und Ausblick

Das Projekt LFB-Labs-digital beschreibt einen vieldimensionalen Zugang zu Digitalisierungsangeboten für die Lehrkräftefortbildungen in den MINT-Fächern. Es berücksichtigt auf fachlicher, überfachlicher und systemischer Ebene die Wirkungen der Lehrkräftefortbildungen bezogen auf die Lehrkräfte selbst und bezogen auf die Schüler*innen. Einbezogen werden ferner die jeweiligen Fortbildner*innen sowie die verwendete Hardware und Software. Die Anlage des Projekts ist äußerst praxisbezogen. Es gründet sich auf langjährig sehr erfolgreich betriebene Schülerlabore wie die Teutolabs. Gleichzeitig ist das Projekt sehr deutlich in der Theorie fundiert und stützt sich substantiell auf den aktuellen Forschungsstand. Als Grundlage dienen Theorien und Forschungsbefunde zu Lehrkräftefortbildungen (wie das Angebots-Nutzungs-Modell, z.B. Lipowsky, 2014), zu Technik- und Digitalisierungskompetenzen (wie das TPaCK- bzw. DPaCK-Modell, z.B. Huwer et al., 2019) und zur Motivation in Schülerlaboren (z.B. Lewalter, 2020). Damit wird das Projekt LFB-Labs-digital einen substantiellen Beitrag zur Weiterentwicklung digitalisierungsbezogener Fortbildungen leisten und so die Professionalisierung von Lehrkräften fördern.

Förderhinweis

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die der Autor*innen und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wider. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung und Forschung können für sie verantwortlich gemacht werden.

Literatur und Internetquellen

- Ackeren, I. van, Aufenanger, S., Eickelmann, B., Friedrich, F., Kammerl, R., Knopf, J., Mayrberger, K., Scheika, H., Scheiter, K. & Schiefner-Rohs, M. (2019). Digitalisierung in der Lehrerbildung. Herausforderung, Entwicklungsfelder und Förderung von Gesamtkonzepten. *DDS – Die Deutsche Schule*, 111 (4), 103–119. <https://doi.org/10.25656/01:19046>
- Altrichter, H. (2019). Transfer ist Arbeit und Lernen. In C. Schreiner, C. Wiesner, S. Breit, P. Döbelstein, M. Heinrich & U. Steffens (Hrsg.), *Praxistransfer Schul- und Unterrichtsentwicklung* (S. 27–33). Waxmann.
- Altrichter, H., Baumgart, K., Gnahn, D., Jung-Sion, J. & Pant, H.A. (2019). *Evaluation der Lehrerfortbildung in NRW – Stellungnahme der Expertengruppe*. https://www.schulministerium.nrw/system/files/media/document/file/Expertenbericht_Lehrerfortbildung.pdf

- Altrichter, H., Brüsemeister, T. & Wissinger, J. (2007). *Educational Governance. Handlungskoordination und Steuerung im Bildungssystem*. VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90498-6>
- Artelt, C., Baumert, J., Julius-McElvany, N. & Peschar, J. (2003). *Learners for Life. Student Approaches to Learning. Results from PISA 2000*. OECD.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 7–28.
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (2020). *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.
- Beierlein, C., Kovaleva, A., Kemper, C.J. & Rammstedt, B. (2012). ASKU. Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzsкала [Verfahrensdokumentationen, Fragebogen Deutsch und Englisch]. In Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID) (Hrsg.), *Open Test Archive*. ZPID. <https://doi.org/10.23668/psycharchives.4527>
- Besa, K.-S., Biehl, A., Gensler, A., Gesang, J., Lüking, S. & Wilde, M. (2021). Interesse an digitalen Medien – eine Frage der Persönlichkeit? *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 14 (1), 11–27.
- Bieber, G., Dederig, K., Krüger-Potratz, M. & Tillmann, K.-J. (2020). Editorial zum Schwerpunktthema: Lehrkräftemangel und Lehrerrekutierung – historische Perspektive und aktuelle Problemlage. *DDS – Die Deutsche Schule*, 112 (4), 359–363. <https://doi.org/10.31244/dds.2020.04.01>
- Bittorf, B. (2008). *Die Qualitätsprojekte Q2E und OES im Vergleich: eine Analyse der Qualitätshandbücher und des Autonomierahmens beruflicher Schulen in der Nordwestschweiz und in Baden-Württemberg*. Dissertation. Universität Konstanz.
- Blumberg, E. (2008). *Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule*. Dissertation. Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Blumberg, E., Niederhaus, C., Albers, T. & Havkic, A. (2019). Durchgängige Sprachbildung und Inklusion in der sachunterrichtsdidaktischen Lehrer*innenbildung – Eine interdisziplinäre Evaluationsstudie mit Sachunterrichtsstudierenden. In D. Pech, C. Schomaker & T. Simon (Hrsg.), *Inklusion im Sachunterricht. Perspektiven der Forschung* (Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 10) (S. 169–181). Klinkhardt.
- Blumberg, E. & Sicking, A. (2020). Einsatz digitaler Medien im Sachunterricht: Vorreiter Schweden!? In D.M. Meister & I. Mindt (Hrsg.), *Mobile Medien im Schulkontext* (Medienbildung und Gesellschaft, Bd. 41) (S. 241–264). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29039-9_12
- Breiter, A., Stolpmann, B.E. & Zeising, A. (2015). *Szenarien lernförderlicher IT-Infrastrukturen in Schulen: Betriebskonzepte, Ressourcenbedarf und Handlungsempfehlungen*. Bertelsmann Stiftung.
- Bromme, R. (2014). *Der Lehrer als Experte. Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Waxmann.
- Brüggemann, M. & Breiter, A. (2016). Schulentwicklung mit digitalen Medien – Medienbezogene Schulentwicklung ist erforderlich für eine gelingende Medienintegration. *PÄDAGOGIK*, 68 (6), 37–39.
- Brummelhuis, A. & Kuiper, E. (2008). Driving Forces for ICT in Learning. In J. Voogt & G. Knezek (Hrsg.), *International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (S. 97–111). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73315-9>
- Brüning, A.-K., Käpnick, F., Weusmann, B., Köster, H. & Nordmeier, V. (2020). Lehr-Lern-Labore im MINT-Bereich – eine konzeptionelle Einordnung und empirisch-

- konstruktive Begriffskennzeichnung. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore – Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung* (S. 13–26). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58913-7_2
- Bybee, R. & McCrae, B. (2011). Scientific Literacy and Student Attitudes: Perspectives from PISA 2006 Science. *International Journal of Science Education*, 33 (1), 7–26. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518644>
- Chi, M.T.H. & Wylie, R. (2014). The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, 49 (4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- De Jong, T. & Lazonder, A.W. (2014). The Guided Discovery Learning Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 371–390). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.019>
- Dederling, K. (2020). Quer-/Seiteneinsteigende in den Lehrerberuf im Spiegel der empirischen Forschung. Themenbereiche, Befunde und Desiderata. *DDS – Die Deutsche Schule*, 112 (1), 91–104. <https://doi.org/10.31244/dds.2020.01.06>
- Diepolder, C., Weitzel, H., Huwer, J. & Lukas, S. (2021). Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 203–214. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00134-1>
- Digel, S., Engelhardt, A. & Roth, J. (2023). Digital gerahmte Experimentierumgebungen als dynamischer Zugang zu Funktionen. In J. Roth, M. Baum, K. Eilerts, G. Hornung & T. Trefzger (Hrsg.), *Digitale Tools und Methoden für das Lehren und Lernen* (Die Zukunft des MINT-Lernens, Bd. 2) (S. 1–16). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66133-8_1
- Deutsches Institut für Normung. (2021). *Anforderungen an die Überprüfung, Aufrechterhaltung und Verbesserung der Kompetenzen von Lernbegleitern – Anforderungen an Personen* (DIN 33459: 2021-10). <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:340934746>
- Döbeli Honegger, B. (2021). Covid-19 und die digitale Transformation in der Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 39 (3), 411–422. <https://doi.org/10.25656/01:23693>
- Dreer, B. & Kracke, B. (2020). *Befragung von Thüringer Lehrer*innen während der durch die Corona-Krise bedingten Schulschließungen 2020 – Bericht erster Ergebnisse*. https://www.uni-jena.de/unijenamedia/Thueringer_Studie_zum_Unterricht_in_der_Coronakrise.pdf
- DVLfB (Deutscher Verein zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung e.V.) (Hrsg.). (2018). *Recherchen für eine Bestandsaufnahme der Lehrkräftefortbildung in Deutschland. Ergebnisse des Projektes Qualitätsentwicklung in der Lehrkräftefortbildung, Teil 1. forum Lehrerfortbildung*, 47. <https://lehrerfortbildung.de/service/veroeffentlichungen>
- Dybkaer, R., Jordal, R., Jørgensen, P.J., Hansson, P., Hjelm, M., Kaihola, H.-L., Kallner, A., Rustad, P., Uldall, A. & De Verdier, C.-H. (1993). A Quality Manual for the Clinical Laboratory Including the Elements of a Quality System: Proposed Guidelines. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 53 (sup212), 60–77. <https://doi.org/10.1080/00365519309085460>
- Eickelmann, B. (2019). Lehrerfortbildung im Kontext der digitalen Transformation: Herausforderungen, Befunde und Perspektiven für eine zukunftsfähige Gestaltung des Bildungssystems. In B. Priebe, W. Böttcher, U. Heinemann & C. Kubina (Hrsg.), *Steuerung und Qualitätsentwicklung im Fortbildungssystem. Probleme und Befunde – Standardbildung und Lösungsansätze* (S. 208–228). Klett Kallmeyer.

- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- Euler, M. & Schüttler, T. (2020). Schülerlabore. In E. Kircher, R. Girwidz & H.E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik: Methoden und Inhalte* (S. 127–166). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59496-4_5
- Fend, H. (2008). *Schule gestalten. Systemsteuerung, Schulentwicklung und Unterrichtsqualität*. Springer VS.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an Educational Task*. D. Reidel. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-2903-2>
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, W. & Pekrun, R. (2009). *PISA 2006 Skalenhandbuch. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Waxmann.
- GDSU (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts) (Hrsg.). (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht* (vollst. überarb. und erw. Ausg.). Klinkhardt.
- GEW (Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft) (Hrsg.). (2020). *Digitalpakt Schule und Digitalisierung an Schulen. Ergebnisse einer GEW-Mitgliederbefragung 2020*. <https://www.gew.de/fileadmin/media/publikationen/hv/Bildung-digital/202004-Mitgliederbefr-Digitalisierung.pdf>
- Goodwin, C. (1994). Professional Vision. *American Anthropologist*, 96 (3), 606–633. <https://doi.org/10.1525/aa.1994.96.3.02a00100>
- Großmann, N., Kaiser, L.-M., Salim, B., Ahmed, A.-K. & Wilde, M. (2021). Jahrgangsstufenspezifischer Vergleich der motivationalen Regulation im Biologieunterricht und des individuellen Interesses an biologischen Themen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. *ZDB – Zeitschrift für Didaktik der Biologie – Biologie Lehren und Lernen*, 25, 134–153. <https://doi.org/10.11576/zdb-4095>
- Großmann, N. & Wilde, M. (2020). Promoting Interest by Supporting Learner Autonomy: The Effects of Teaching Behaviour in Biology Lessons. *Research in Science Education*, 50 (5), 1763–1788. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9752-5>
- Haider, M. & Knoth, S. (2022). Kompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. In M. Haider & D. Schmeinck (Hrsg.), *Digitalisierung in der Grundschule – Grundlagen, Gelingensbedingungen und didaktische Konzeptionen am Beispiel des Fachs Sachunterricht* (S. 56–70). Klinkhardt. <https://doi.org/10.35468/5938-05>
- Hampf, V. (2022). Das digitale Produzieren und Präsentieren im Sachunterricht. In M. Haider & D. Schmeinck (Hrsg.), *Digitalisierung in der Grundschule. Grundlagen, Gelingensbedingungen und didaktische Konzeptionen am Beispiel des Fachs Sachunterricht* (S. 157–170). Klinkhardt. <https://doi.org/10.35468/5938-12>
- Hattie, J.A.C. (2009). *Visible Learning – A Synthesis of over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Routledge.
- Heinrich, M. (2021). Vom Ende der Schulentwicklung als Qualitätsentwicklung? Ein persönlicher Rückblick auf die Schulentwicklungsdebatte der letzten zwanzig Jahre und ein Plädoyer für eine professionssensible Schulentwicklung. In A. Moldenhauer, B. Asbrand, M. Hummrich & T.-S. Idel (Hrsg.), *Schulentwicklung als Theorieprojekt. Forschungsperspektiven auf Veränderungsprozesse von Schule* (S. 291–313). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30774-5_14
- Heinrich, M. & Klewin, G. (2019). Evidenzbasierte Steuerung ohne „Evidenztransfer“? Zum Problem der mangelnden Professionssensibilität des Programms der Evidenzbasierung sowie den Chancen und Grenzen von Praxisforschung als Alternative oder Ergänzung. In C. Schreiner, C. Wiesner, S. Breit, P. Dobbelstein, M. Heinrich

- & U. Steffens (Hrsg.), *Praxistransfer Schul- und Unterrichtsentwicklung* (S. 61–77). Waxmann.
- Helfferrich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (4. Aufl.). VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität*. Klett Kallmeyer.
- Helmke, A. (2015). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (6., überarb. Aufl.). Klett Kallmeyer.
- Henne, A., Beuter, A., Hachfeld, A., Schumann, S. & Möhrke, P. (2021). Naturwissenschaftlicher Unterricht während der Corona-Pandemie. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online-Jahrestagung 2020* (S. 669–672). Universität Duisburg-Essen.
- Herzig, B. (2020). Medienbildung in der Grundschule – ein konzeptioneller Beitrag zur Auseinandersetzung mit (digitalen) Medien. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 13 (1), 99–116. <https://doi.org/10.1007/s42278-019-00064-5>
- Hinzke, J.-H., Gesang, J. & Besa, K.-S. (2020). Zur Erschließung der Nutzung von Forschungsergebnissen durch Lehrpersonen. Forschungsrelevanz zwischen Theorie und Praxis. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23 (6), 1303–1323. <https://doi.org/10.1007/s11618-020-00982-6>
- Hoffmann, L. & Richter, D. (2016). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Deutsch- und Englischlehrkräften im Ländervergleich. In P. Stanat, L. Böhme, S. Schipolowski & N. Haag (Hrsg.), *IQB-Bildungstrend: Sprachliche Kompetenzen am Ende der 9. Jahrgangsstufe im zweiten Ländervergleich* (S. 481–501). Waxmann.
- Huber, S.G., Günther, P.S., Schneider, N., Helm, C., Schwander, M., Schneider, J.A. & Pruitt, J. (2020). *COVID-19 – aktuelle Herausforderungen in Schule und Bildung. Erste Befunde des Schulbarometers in Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830942160>
- Huber, S.G. & Radisch, F. (2010). Lehrerfort- und -weiterbildung – ein Rahmenmodell für Forschung und Evaluation. In B. Schwarz, P. Nenniger & R.S. Jäger (Hrsg.), *Erziehungswissenschaftliche Forschung – nachhaltige Bildung. Beiträge zur 5. DGfE-Sektionstagung „Empirische Bildungsforschung“, AEPF-KBBB im Frühjahr 2009* (Erziehungswissenschaft, Bd. 28) (S. 204–222). Empirische Pädagogik.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK: Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal*, 72 (5), 358–364.
- Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M. & Trautwein, U. (2015). Effects of a Science Center Outreach Lab on School Students' Achievement – Are Student Lab Visits Needed When They Teach What Students Can Learn at School? *Learning and Instruction*, 38, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.03.003>
- Jerusalem, M. & Schwarzer, R. (1999). Allgemeine Selbstwirksamkeit. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen* (S. 16–17). Institut für Psychologie, Freie Universität Berlin.
- Kabaum, M. & Anders, P. (2020). Warum die Digitalisierung an der Schule vorbeigeht. Begründungen für den Einsatz von Technik im Unterricht in historischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 66 (3), 309–323. <https://doi.org/10.25656/01:25796>
- Kaiser, L.-M., Stiller, C. & Wilde, M. (2023). Oh, no – That's Disgusting! Influence of Disgust and Different Teaching Methods on Students' State of Interest. In G.S. Carvalho, A.S.C. Afonso & Z.F.C. Anastácio (Hrsg.), *Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World. Selected Papers from the ESERA 2021 Conference* (Contributions from Science Education Research, Vol. 13) (S. 117–134). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32225-9_8

- Kirchhoff, T., Randler, C. & Großmann, N. (2023). Experimenting at an Outreach Science Lab vs. at School – Differences in Students’ Basic Need Satisfaction, Intrinsic Motivation, and Flow Experience. *Journal of Research in Science Teaching*, 60 (10), 2255–2293. <https://doi.org/10.1002/tea.21859>
- Kirchhoff, T., Wilde, M. & Großmann, N. (2023). On the Interest-Promoting Effect of Outreach Science Labs: A Comparison of Students’ Interest during Experimentation at an Outreach Science Lab and at School. *Research in Science Education*. Advance Online Publication. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10140-7>
- Kleine, M. & Wellensiek, N. (2018). Forschendes Lernen – Ein Ansatz im teutolab-mathematik für heterogene Lehr-Lern-Gruppen. In P. Bender (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2018* (S. 971–974). WTM.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hrsg.). (2020). *Ländergemeinsame Eckpunkte zur Fortbildung von Lehrkräften als ein Bestandteil ihrer Professionalisierung in der dritten Phase der Lehrerbildung*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.03.2020. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/20_20/2020_03_12-Fortbildung-Lehrkraefte.pdf
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hrsg.). (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 09.12.2021. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf
- Koerber, R. (2015). Qualitätsmanagement in der Lehrer_innenfortbildung: Entstehung, Einsatz und Perspektive des deutschsprachigen Musterqualitätshandbuchs der Lehrerfortbildung. *Ricercazione*, 7 (2), 145–163.
- Krajcik, J.S. & Blumenfeld, P.C. (2006). Project-Based Learning. In R.K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (S. 317–334). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020>
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45 (3), 185–201.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, Methods, and Findings. *International Journal of Science Education*, 33 (1), 27–50. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518645>
- Krille, C. (2020). *Teachers’ Participation in Professional Development*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38844-7>
- Kussau, J. (2007). Schulische Veränderung als Prozess des „Nacherfindens“. In J. Kussau & T. Brüsemeister (Hrsg.), *Governance, Schule und Politik. Zwischen Antagonismus und Kooperation* (S. 287–304). Springer VS.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning: A Model-Centered Approach*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1954-9>
- Lang, V., Seibert, J. & Kay, C.W.M. (2021). Digitally Embedded Tools (DET) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in der Lehrer*innenbildung. In N. Graulich, J. Huwer & A. Banerji (Hrsg.), *Digitalisation in Chemistry Education* (S. 35–42). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830994183>
- Lau, R., Heinrich, M. & Lübeck, A. (2019). Professionalisierung in Spannungsfeldern von Inklusion durch Fortbildung: Transferaktivitäten zu einem Forschungsdesiderat. *WE_OS-Jb – Jahrbuch der Wissenschaftlichen Einrichtung Oberstufen-Kolleg*, 2 (1), 82–99. https://doi.org/10.4119/we_os-3188
- Lewalter, D. (2020). Schülerlaborbesuche aus motivationaler Sicht unter besonderer Berücksichtigung des Interesses. In K. Sommer, J. Wirth & M. Vanderbeke (Hrsg.), *Handbuch Forschen im Schülerlabor* (S. 63–78). Waxmann.

- Lichti, M. & Roth, J. (2018). How to Foster Functional Thinking in Learning Environments Using Computer-Based Simulations or Real Materials. *Journal for STEM Education Research*, 1 (1–2), 148–172. <https://doi.org/10.1007/s41979-018-0007-1>
- Lichti, M. & Roth, J. (2020). Wie Experimente mit gegenständlichen Materialien und Simulationen das funktionale Denken fördern. *ZMFP – Zeitschrift für Mathematikdidaktik in Forschung und Praxis*, 1, 1–35. <https://doi.org/10.48648/cjee-y110>
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf – Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung. In F. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen – Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51–72). Waxmann.
- Lipowsky, F. (2014). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfort- und -weiterbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 398–417). Waxmann.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2021a). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten. Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Bertelsmann Stiftung.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2021b). Welche Art von Fortbildung wirkt? In B. Jungkamp & M. Pfafferoth (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftefortbildung in Deutschland* (S. 19–38). Netzwerk Bildung.
- Lomax, K., Alfonzo, K., Dietz, S., Kleyman, E. & Kazemi, E. (2017). Trying Three-Act Tasks with Primary Students. *Teaching Children Mathematics*, 24 (2), 113–119. <https://doi.org/10.5951/teacchilmath.24.2.0112>
- Medienberatung NRW. (2020). *Medienkompetenzrahmen NRW*. https://medienkompetenzrahmen.nrw/fileadmin/pdf/LVR_ZMB_MKR_Rahmen_A4_2020_03_Final.pdf
- Meier, M., Kastaun, M. & Stinken-Rösner, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht. In E. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWI-gation von Inklusion. Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 51–65). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37198-2_5
- Middendorf, W. (2022). *Zu der KMK-Forderung nach digital gestützter Diagnostik und Lernförderung in Schule*. DIPF. <https://www.doi.org/10.25656/01:23907>
- Mishra, P. & Köhler, M.J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Integrating Technology in Teachers' Knowledge. *Teachers College Record*, 108 (6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- MSW NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.). (2015). *Referenzrahmen Schulqualität NRW*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/e/upload/referenzrahmen/download/Referenzrahmen_Veroeffentlichung.pdf
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7>
- Nickolaus, R., Steffensky, M. & Parchmann, I. (2018). *Expertise zu Effekten zentraler außerschulischer MINT-Angebote*. Nationales MINT Forum. https://www.nationalesmintforum.de/fileadmin/medienablage/content/veranstaltungen/6_NMG_2018/pdf/NMF-Expertise_zu_Effekten_zentraler_au_erschulischer_MINT-Angebote_2018.pdf
- Panhorst, M. & Buschmann, J.-K. (2021). Online-Lernen im Schülerlabor. Der Online-Workshop „Evolution von Coronaviren“. *BU praktisch*, 4 (2), 1–15. <https://doi.org/10.11576/bupraktisch-4183>
- Pasternack, P., Baumgarth, B., Burkhardt, A., Paschke, S. & Thielemann, N. (2017). *Drei Phasen. Die Debatte zur Qualitätsentwicklung in der Lehrer_innenbildung*. Bertelsmann. <https://doi.org/10.3278/6001599w>

- Positionspapier der Landesinstitute und Qualitätseinrichtungen der Länder zum Transfer von Forschungswissen.* (2018). https://www.bildungsserver.de/onlineresource.html?onlineresourcen_id=60021
- Ralle, B. (2015). Schülerlabore im Spannungsfeld zwischen formaler und informeller Bildung. In G. Roth (Hrsg.), *Zukunft des Lernens: Neurobiologie und Neue Medien* (S. 35–48). Brill Schöningh. https://doi.org/10.30965/9783657779857_005
- Ramboll Management Consulting GmbH (Hrsg.). (2022). *Strukturen der Lehrkräftebildung in Deutschland – Ein Blick in das Umfeld der „Qualitäts Offensive Lehrerbildung“*. Hamburg. https://c.ramboll.com/de-de/qualitaetsoffensive-lehrerbildung?hs_preview=dRHcWQhW-112202061145#
- Reddy, M. & Mint, P. (2017). Impact of Simulation Based Education on Biology Student’s Academic Achievement in DNA Replication. *Journal of Education and Practice*, 8 (15), 72–75.
- Reimann, M., Herzog, S., Parchmann, I. & Schwarzer, S. (2020). Wirksamkeit der schulischen Vor- und Nachbereitung eines Schülerlaborbesuches. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26, 227–240. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00121-y>
- Reinmann, G. (2022). Was macht Design-Based Research zu Forschung? Die Debatte um Standards und die vernachlässigte Rolle des Designs. *Educational Design Research*, 6 (2), Article 48. <https://doi.org/10.15460/eder.6.2.1909>
- Roth, J. (2022). Digitale Lernumgebungen – Konzepte, Forschungsergebnisse und Unterrichtspraxis. In G. Pinkernell, F. Reinhold, F. Schacht & D. Walter (Hrsg.), *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule. Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 109–136). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65281-7_6
- Ryan, R.M. & Deci, E.L. (2017). *Self-Determination Theory – Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness*. Guilford Press. <https://doi.org/10.1521/978.14625/28806>
- Rzejak, D. (2023). *Die Kunst, Fortbildungsangebote für Lehrkräfte evidenzbasiert zu gestalten: Wichtige Merkmale im Überblick*. Vortrag auf Einladung des Verbundprojekts LFB-Labs-digital. Online, 25. September 2023.
- Rzejak, D., Gröschner, A., Lipowsky, F., Richter, D. & Calcagni, E. (2023). *Qualität von Lehrkräftefortbildungen einschätzen. Ein Arbeitsbuch aus dem Projekt IMPRESS*. https://www.pedocs.de/volltexte/2023/26502/pdf/Rzejak_et_al_2023_Qualitaet_von_Lehrkraeftfortbildungen.pdf
- Schäfers, M.S., Schmiedebach, M. & Wegner, C. (2020). Virtuelle Labore im Biologieunterricht. Auswirkungen von Labster auf die Selbsteinschätzung von Schülerinnen und Schülern. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, (39), 140–167. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2020.08.31.x>
- Scharfenberg, F.J. & Bogner, F.X. (2016). A New Role Change Approach in Pre-Service Teacher Education for Developing Pedagogical Content Knowledge in the Context of a Student Outreach Lab. *Research in Science Education*, 46, 743–766. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9478-6>
- Scharfenberg, F.J., Möller, A., Kaufmann, K. & Bogner, F.X. (2019). Schülerlabore und Lehr-Lern-Labore. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 229–249). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_13
- Schiefer, J., Golle, J., Tibus, M., Herbein, E., Gindele, V., Trautwein, U. & Oschatz, K. (2020). Effects of an Extracurricular Science Intervention on Elementary School Children’s Epistemic Beliefs: A Randomized Controlled Trial. *British Journal of Educational Psychology*, 90 (2), 382–402. <https://doi.org/10.1111/bjep.12301>
- Schiepe-Tiska, A., Simm, I. & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In

- K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 99–132). Waxmann.
- Schütte, K. & Köller, O. (2015). “Discover, Understand, Implement and Transfer”: Effectiveness of an Intervention Programme to Motivate Students for Science. *International Journal of Science Education*, 37 (14), 2306–2325. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1077537>
- Schüttler, T., Watzka, B., Girwidz, R. & Ertl, B. (2021). Die Wirkung der Authentizität von Lernort und Laborgeräten auf das situationale Interesse und die Relevanzwahrnehmung beim Besuch eines naturwissenschaftlichen Schülerlabors. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 109–125. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00128-z>
- Schulze-Vorberg, L., Krille, C., Fabriz, S. & Horz, H. (2021). Hinweise und Empfehlungen für die Konzeption von Lehrkräftefortbildungen zu digitalen Medien. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24, 1113–1142. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01046-z>
- Schumacher, S. & Roth, J. (2015). Guided Inquiry Learning of Fractions – a Representational Approach. In K. Krainer & N. Vondrová (Hrsg.), *CERME9 – Proceedings of the Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (S. 2545–2551). Charles University in Prague, Faculty of Education and ERME.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Schwippert, K., Kasper, D., Köller, O. & McElvany, N. (2020). *TIMSS 2019: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich*. Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830993193>
- Stalder, F. (2016). *Kultur der Digitalität* (Edition Suhrkamp, Bd. 2679). Suhrkamp.
- Stalder, F. (2018). Herausforderungen der Digitalität jenseits der Technologie. *Synergie – Fachmagazin für Digitalisierung in der Lehre*, 5, 8–15. <https://www.synergie.uni-hamburg.de/de/media/ausgabe05/synergie05-beitrag01-stalder.pdf>
- Stalder, F. (2021). Was ist Digitalität? In U. Hauck-Thum & J. Noller (Hrsg.), *Was ist Digitalität?* (S. 3–7). J.B. Metzler. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62989-5_1
- SWK (Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz). (2022). *Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule*. Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK). <http://dx.doi.org/10.25656/01:25273>
- Téllez-Acosta, M.E., Acher, A. & McDonald, S.P. (2023). Pre-Service Elementary Teachers Learning to Plan Modeling-Based Investigations. *Journal of Science Teacher Education*, 35 (3), 276–301. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2023.2256563>
- Thomas, A.E. & Müller, F.H. (2016). Entwicklung und Validierung der Skalen zur motivationalen Regulation beim Lernen. *Diagnostica*, 62 (2), 1–11. <https://doi.org/10.1026/0012-1924/a000137>
- Thomas, A.E., Müller, F.H. & Bieg, S. (2018). Entwicklung und Validierung der Skalen zur motivationalen Regulation beim Lernen im Studium (SMR-LS). *Diagnostica*, 64 (3), 145–155. <https://doi.org/10.1026/0012-1924/a000201>
- Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T. & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge”-Model in STEM-Education. *Education Sciences*, 13 (8), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>

- Van den Broeck, A., Vansteenkiste, M., De Witte, H., Soenens, B. & Lens, W. (2010). Capturing Autonomy, Competence, and Relatedness at Work: Construction and Initial Validation of the Work-Related Basic Need Satisfaction Scale. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 83, 981–1002. <https://doi.org/10.1348/096317909X481382>
- Verständig, D. (2020). Das Allgemeine der Bildung in der digitalen Welt. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, (39), 1–12. <https://doi.org/10.21240/mpaed/39/2020.12.01.X>
- Verständig, D. & Stricker, J. (2023). Hacking Inequality. In fünf Schritten zu etwas mehr Bildungsgerechtigkeit. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, (52), 319–339. <https://doi.org/10.21240/mpaed/52/2023.02.16.X>
- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25, 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- Wadouh, J., Sandmann, A. & Neuhaus, B. (2009). Vernetzung im Biologieunterricht – deskriptive Befunde einer Videostudie. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 69–87.
- Watt, H.M.G. (2016). Gender and Motivation. In K.R. Wentzel & D.B. Miele (Hrsg.), *Handbook of Motivation at School* (2. Aufl.) (S. 320–339). Routledge.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskaala intrinsischer Motivation (KIM). *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- Yin, R.K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods* (5., bearb. Aufl.). Sage.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Kirchhoff, T., Schwedler, S., Abels, S., Acher, A., Anselmetti, D., Besa, K.-S., Biehl, J., Blumberg, E., Breiter, A., Brückmann, M., Büntemeyer, D., El Tegani, M., Engelhardt, A., Grotjohann, N., Kiel, C., Kleine, M., Koerber, R., Lambrecht, M., Lehmenkühler, A., Meyer, D., Mußhoff, A., Panhorst, M., Peperkorn, C., Röllke, K., Roth, J., Schäfers, M.S., Schüler, H., Stinken-Rösner, L., Strauß, S., Stricker, J., Temmen, K., Tönsing, K., Verständig, D., Wegner, C., Wellensiek, N., Wenzel, A., Wördemann, D., Ziegler, M., Heinrich, M. & Wilde, M. (2024). LFB-Labs-digital: Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt. Ein Bericht zur Konzeption eines Verbundprojektes. *PFLB – Praxisforschung/Lehrer*innenbildung*, 6 (1), 130–155. <https://doi.org/10.11576/pflb-7349>

Online verfügbar: 19.08.2024

ISSN: 2629-5628



Dieses Werk ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 (Weitergabe unter gleichen Bedingungen). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z.B. Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>