

# 1.4

Anke Lindmeier

## Mathematische Bildung in der digitalen Welt

### Ist die traditionelle Trias der Bildungsziele für die gymnasiale Oberstufe noch zeitgemäß?

#### 1 Einleitung

Die aktuell gültige Zieltrias der Oberstufe, vertiefte Allgemeinbildung, allgemeine Studierfähigkeit sowie wissenschaftspropädeutische Bildung (KMK, 1972, S. 5, Fassung von 2021), stammt in ihrem Kern aus Zeiten, in denen die Digitalisierung zwar bereits eingesetzt hatte, ihre Dynamik in der heutigen Ausprägung jedoch noch nicht so klar erkennbar bzw. sogar vorstellbar war. Folglich spielten Fragen der Digitalisierung und mögliche Implikationen für die Bestimmung von Bildungszielen der Oberstufe damals – wenn überhaupt – eine eher untergeordnete Rolle. Selbst in der aktuellen Version der Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe und der Abiturprüfungen wird das Thema nicht explizit aufgegriffen. Speziell für das Fach Mathematik thematisieren die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife zwar digitale Mathematikwerkzeuge (vgl. Abschnitt 4.2 für eine Definition), betonen jedoch bisher vordergründig deren Potenzial zur Unterstützung des Erwerbs mathematischer Kompetenzen (KMK, 2012a).

Spätestens mit dem Ausrufen der Strategie „Bildung für eine digitale Welt“ (KMK, 2016) wurden jedoch explizit Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung vorgestellt, die in allgemeinbildenden Kontexten erworben werden sollen. Hier lässt sich beobachten, wie die fortschreitende Digitalisierung und der zugehörige öffentliche Diskurs zu einem bildungspolitischen Entscheidungsdruck (Neubrand, 2021) in Bezug auf eine mögliche Verschiebung von Bildungszielen führen, welche es konsequenterweise erforderlich machen würden, diesbezüglich auch über die Fächer und ihren jeweiligen Bildungswert zu reflektieren. Dies geschieht bisher aber kaum und vorsorglich konstatiert die Präambel der genannten Strategie, dass diese „neuen“ Bildungsziele dem geltenden Bildungs- und Erziehungsauftrag untergeordnet werden sollen. Entsprechend durchzieht das Strategiepapier der Grundtenor, dass die Aufnahme digitaler Kompetenzen in die Bildungsziele keine Umorientierung darstellt. Es ginge eher darum „auch durch Nutzung digitaler Lernumgebungen“ die Zielsetzungen durch „Veränderungen bei der inhaltlichen und formalen Gestaltung [...] besser zur Entfaltung [zu] bringen“ (KMK, 2016, S. 9).

Nun werden in dieser Strategie explizit die Grundschule, Sekundarstufe I, die Hochschulen sowie der berufliche Bildungsbereich bedacht, nicht jedoch die gymnasiale Oberstufe. Fragen, die das Verhältnis von Studierfähigkeit oder Wissenschafts-

propädeutik zu digitalen Kompetenzen betreffen, werden ebenso wenig gestreift wie ein möglicher Bezug zur Idee einer vertieften Allgemeinbildung. Dies gilt auch für die ergänzende Empfehlung von 2021 (KMK, 2021).

Es stellen sich daher die Fragen: Welche Rolle können und sollen mögliche Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung in der gymnasialen Oberstufe im Rahmen der geltenden Zieltrias spielen? Ist es sinnvoll, eine vierte Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung zu entwickeln? Und daran anschließend insbesondere: Welchen Beitrag kann das Fach Mathematik in der gymnasialen Oberstufe bei der Modifikation bzw. Erweiterung der Zieldimensionen leisten? Eine derartige, neue Zieldimension kann vor ihrer Fassung naturgemäß noch nicht geschärft sein. Um möglichen vorhandenen Konnotationen in der Literatur aus dem Weg zu gehen, wäre es günstig, in der Zwischenzeit einen möglichst „unverbrauchten“ Begriff zu nutzen, was sich als schwierig erweist. Deswegen wird in diesem Text in der Regel die Umschreibung „Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung“ verwendet.

Die Bearbeitung der Fragen stellt aufgrund der in essenziellen Punkten unterbestimmten Bezugsgrößen *Zieltrias* und *Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe* sowie zudem *mögliche Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung* eine kaum zu bewältigende Herausforderung dar. Dieser Beitrag macht den Versuch, sich der Problemstellung über alle drei Bezugsgrößen anzunähern. In Abschnitt 2 wird daher ausgehend von der gültigen Zieltrias dargelegt, dass die Frage nach der Ergänzung einer vierten Zieldimension derzeit nicht abschließend beantwortet werden kann. Gleichzeitig wird in diesem Abschnitt noch einmal deutlich, dass es gerade durch die fortschreitende Digitalisierung notwendig wird, die Zieltrias und damit in Folge auch den Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe neu zu kalibrieren.

Um dafür eine Grundlage zu setzen, wird im Anschluss der Versuch unternommen, abzustecken, was unter einer Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung verstanden werden könnte. Dazu werden in Abschnitt 3 holzschnittartig und exemplarisch Diskurslinien skizziert, die für Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung relevant erscheinen. Aus der Zusammenschau der verschiedenen Diskurslinien entsteht ein orientierendes Rahmenmodell.

Im darauffolgenden Abschnitt 4 wird beispielhaft entlang des mathematikdidaktischen Diskurses und ausgewählter Bereiche des Rahmenmodells aufgezeigt, was der Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe dazu bereits beiträgt oder idealerweise beitragen könnte. Es wird dabei mit aller Vorsicht ein Fazit für mögliche zukünftige Neuorientierungen des Mathematikunterrichts in der Oberstufe bezüglich der Bildungsziele abgeleitet.

## 2 Was spricht generell für oder gegen eine Erweiterung der Zieltrias um eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung?

Die hier geführte Argumentation basiert auf der Beobachtung, dass die fortschreitende Digitalisierung Veränderungen in allen Lebensbereichen hervorruft und die

Menschen vor der Herausforderung stehen, diese Veränderungen zu bewältigen. Die offensichtlichen technischen Veränderungen könnten bereits ein Anlass zur Überprüfung geltender Bildungsziele sein.

Mit dem Begriff *Digitalisierung* ist allerdings jenseits der ursprünglichen Wortbedeutung nicht nur gemeint, dass etwas Nicht-Digitales in etwas Digitales überführt wird (Verständig, 2020). Aus soziologischer Perspektive lässt sich herausarbeiten, dass die Digitalisierung auch gesellschaftliche Ordnungen und kulturelle Praktiken prägt und sie somit nicht nur Veränderungen, sondern eher einen Wandel oder sogar eine Disruption bedingt (Stalder, 2016). So gewinnen etwa selbstorganisierte Gemeinschaftsformate, die nicht an Raum und Zeit gebunden sind, an Bedeutung (z. B. in sozialen Netzwerken organisierte Gruppen von Menschen, die an bestimmten Themen interessiert sind). Zusammenfassend wird von der *Kultur der Digitalität* (oder kurz *der Digitalität*) gesprochen, um zu betonen, dass es sich nicht um einen vorübergehenden Änderungsprozess handelt, der auf eine neue Normalität hin konvergiert, sondern dass auch für die Zukunft kein stabiler Endzustand der Gesellschaft erwartet wird.

Entsprechend müssten vorhandene Bildungsziele also prinzipiell überprüft werden, ob sie in einer Kultur der Digitalität obsolet werden oder modifiziert werden müssen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob es notwendig wird, eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung zu ergänzen.

Naturgemäß sind solche bildungstheoretischen Überlegungen schwierig, weil die prinzipielle Offenheit der Zukunft nicht auflösbar ist und daraus eine Unbestimmtheit der zu erwartenden Anforderungen und Aufgaben resultiert (vgl. Klieme et al., 2003; Tenorth, 2003). Trotzdem muss immer wieder um ein gemeinsames Bildungsverständnis gerungen werden. Die dafür in diesem Buchbeitrag genutzten aktuellen Bestimmungsversuche für die Zieltrias der Oberstufe wurden in Kapitel 1.1 bis 1.3 dieses Buchs herausgearbeitet und seien hier nur porträtiert:

**(Vertiefte) Allgemeinbildung** manifestiert sich in Zusammenschau verschiedener Konzepte bei Rolfes und Heinze (Kap. 1.1 in diesem Band), einerseits in der Orientierung an Lebenssituationen, die funktionale Aspekte betrifft und die Bewältigung privater, beruflicher und gesellschaftlicher Herausforderungen mit und durch Mathematik ermöglichen soll. Andererseits kommt dem Kennenlernen von *Mathematik als eigener Welt* eine allgemeinbildende Funktion zu. Dabei steht die Natur der wissenschaftlichen Disziplin im Fokus, sodass sich deutliche Überschneidungen mit der Wissenschaftspropädeutik als zweiter Zieldimension ergeben.

**Wissenschaftspropädeutik** zielt nach Fesser und Rach (Kap. 1.2 in diesem Band) darauf ab, Lernende exemplarisch in mathematikbezogene wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen einzuführen. Dabei gilt es, zwei wissenschaftliche Bezugspunkte, die Mathematik als *beweisend-deduzierende* und als *anwendbare Disziplin*, zu berücksichtigen.

**Studierfähigkeit** als Bildungsziel folgt wiederum einer stärker funktionalen Perspektive und bezieht sich auf Personenmerkmale, die das erfolgreiche Bewältigen der Anforderungen im Studium ermöglichen. Ufer (Kap. 1.3 in diesem Band) differen-

ziert dies in *kognitive, motivationale und personale Komponenten* aus, wobei die ersten beiden sich wiederum je auf einen *domänenübergreifenden, mathematisch-studienfachübergreifenden* oder *mathematisch-studienfachspezifischen* Aspekt beziehen können.

Als übergreifende Zieldimensionen sind alle drei auf Gesellschaftsausschnitte bezogen, für welche die jeweilige Mündigkeit erlangt werden soll. Dabei sind diese Ausschnitte unterschiedlich gesetzt: Während sich vertiefte Allgemeinbildung allgemein auf die Bewährung in der Gesellschaft als mündige Person bezieht, ist Studierfähigkeit speziell auf den Gesellschaftsausschnitt Hochschule bezogen. Wissenschaftspropädeutik bezieht sich innerhalb eines Ausschnitts Wissenschaft (der nicht gleichzusetzen ist mit Hochschule) wiederum auf spezifische Teilbereiche, die wissenschaftliche Disziplin Mathematik sowie weitere Disziplinen, in denen mathematische Begriffe und Verfahren angewendet werden.

Wenn sich diese Gesellschaftsausschnitte als Bezugspunkte nun verändern, kann dies bei der konkreten Interpretation der Zieltrias nicht ignoriert werden. So kann ein Verständnis von Lebensvorbereitung für eine durch die Kultur der Digitalität geprägte Gesellschaft etwa nicht aussparen, dass man privat und beruflich (auch) auf digitale Herausforderungen trifft. Wissenschaftspropädeutik kann nicht ignorieren, dass man in der Mathematik in vielen Anwendungsfächern – und sogar in Teilbereichen der Disziplin Mathematik – computergestützte Routinen nutzt und die Breite der Anwendungsfächer stetig wächst. Ebenso muss sich Studierfähigkeit auch daran bemessen, ob Lernende in universitären Lernumgebungen in einer Kultur der Digitalität in der Lage sind, ihren Lernprozess erfolgreich zu gestalten.

Es kann also als Zwischenfazit festgehalten werden, dass eine mögliche Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung nicht nur deutliche Überlappungen mit der Zieltrias aufweisen müsste, sondern dass die Dimensionen der Zieltrias in einer Kultur der Digitalität von digitalisierungsbezogenen Zielen durchwoben sein müssten. Die Kapitel zu den einzelnen Zieldimensionen der Trias dieses Buches (Kap. 1.1–1.3) deuten dies nur punktuell an.

Es bleibt damit noch zu überlegen, welche Gründe für die Fassung einer eigenständigen vierten Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung ergänzend zu den anderen drei Zieldimensionen sprechen. Dafür gäbe es mindestens zwei unterschiedliche Begründungsfälle: Der erste Fall läge vor, wenn Ziele mit Bezug zur Digitalisierung substanzielle Bereiche umfassen, die nicht durch die Zieltrias – jetzt schon mit Blick auf eine Kultur der Digitalität verstanden – abgedeckt werden. Diese Bereiche müssten jedoch, um begründend für eine Erweiterung der Trias zu sein, für alle Fächer relevant sein.<sup>1</sup> Der zweite Fall wäre gegeben, wenn die Gefahr be-

---

1 Man könnte in übergeordnete Bildungsziele auch Bereiche aufnehmen, die eigenständig zu verstehen sind oder aber nur für bestimmte Fächer relevant sind. Das würde aber nicht der bisher konsensualen übergeordneten Funktion der Bildungsziele entsprechen: Bei einem eigenständigen Bereich, ohne Bezug zu den Fächern, würde sich sofort die Frage stellen, warum der Bereich nicht als Fach abgebildet wird. Bei einem nur für bestimmte Fächer relevanten Bereich würde die Aufnahme eine Aufwertung von bestimmten Fächern und damit eine indirekte Abwertung der anderen bedeuten.

stünde, dass Ziele mit Bezug zur Digitalisierung ohne eigene Auszeichnung innerhalb der anderen Zieldimensionen zu sehr in den Hintergrund treten, während sie gleichzeitig als besonders wichtig für die gymnasiale Oberstufe gesehen werden. Mit der letzten Bedingung wird deutlich, dass hier im besonderen Maße bildungspolitische Fragen tangiert werden. In diesem Fall könnte diskutiert werden, ob es pragmatisch sinnvoll sein könnte, eine vierte Zieldimension zu entwerfen, um Ziele mit Bezug zur Digitalisierung zu betonen.<sup>2</sup>

Solche Überlegungen werden derzeit noch zu selten und nicht systematisch diskutiert, sodass die Frage nach der Erweiterungsnotwendigkeit der Zieltrias vorerst kaum zu beantworten ist. Aus der Perspektive einer Kultur der Digitalität müsste man sich, wie argumentiert, zuerst ein aktuelles Verständnis der Zieltrias erlangen. Dies empfiehlt sich möglicherweise auch deshalb, weil die einzelnen Dimensionen der Zieltrias, wie Kapitel 1.1–1.3 in diesem Buch aufzeigen, in größeren Teilen, nicht nur in Bezug auf Digitalisierung, unterbestimmt sind. Darüber hinaus fehlt derzeit noch ein konsensuales Verständnis einer möglichen Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung, wobei erschwerend hinzukommt, dass verschiedenste Perspektiven für eine mögliche vierte Zieldimension relevant sind.<sup>3</sup>

### 3 Perspektiven auf Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung

Im Folgenden werden verschiedene Diskurslinien vorgestellt, die für eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung relevant erscheinen. Mit Blick zurück auf teils stark kontroverse Diskurse über mehrere Jahrzehnte kann die Darstellung nicht der historischen Entwicklung gerecht werden und wird exemplarisch sein müssen. Trotzdem lassen sich von höherer Warte verschiedene Bezugslinien aufmachen, die je eigene Perspektiven auf Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung bedingen und für die Bandbreite der heute vorliegenden Verständnisse relevant sind.

Dabei handelt es sich um eine Diskurslinie mit stark pragmatischer Ausrichtung auf Basis der informationstechnischen Grundbildung. Eine zweite, medienpädagogische Diskurslinie hat als Ausgangspunkt, dass Medien konstituierend für die Ge-

2 Eine Variante des zweiten Falls wäre, dass die neue Zieldimension im Moment und mutmaßlich vorübergehend als besonders wichtig erachtet wird. Konsequenterweise könnte man dann für eine temporäre Aufnahme eines vierten Zielbereichs mit Bezug zur Digitalisierung argumentieren. Aber auch eine geplant vorübergehende Aufnahme würde nicht der bisher konsensualen Funktion der Bildungsziele entsprechen und in Folge vermutlich eher dazu führen, dass für andere wichtige querliegende, mit der Trias verwobene Ziele auch der Anspruch abgeleitet werden könnte, sie mindestens temporär zu übergreifenden Bildungszielen zu erheben. Kandidaten sind aufgrund des systematischen Utopieüberschusses (Tenorth, 2003) und damit pluralen und übersteigerten Erwartungen an Zielsetzungen von Schule durchaus vorhanden (z. B. Bildung für nachhaltige Entwicklung, Kompetenzen für eine inklusive Gesellschaft).

3 Weidenmann und Krapp verwiesen 1989 bereits auf dasselbe Problem: „Die große Spannweite dieser Forderungen [bezüglich des Einbezugs von computerbezogenen Kompetenzen] und die unterschiedlichen Auslegungen des Bildungsverständnisses gerade in Bezug auf das Konzept der Allgemeinbildung bedürfen dringend der Klärung“ (Weidenmann & Krapp, 1989, S. 629).

sellschaft sind und daher ihre Reflexion für das Erlangen von Mündigkeit zentral ist. Die dritte portraitierte Linie nimmt besonders Kompetenzen für das Lernen unter Bedingungen der Digitalität in den Blick.

Dabei ist anzumerken, dass in allen Diskurslinien selten spezifisch die gymnasiale Oberstufe thematisiert wird, sodass in diesem Abschnitt auf eine entsprechende Engführung verzichtet wird.

### 3.1 Diskurslinie mit Bezug zur informationstechnischen Bildung

Die erste Diskurslinie fußt auf dem Begriff der *informationstechnischen Bildung* und wurde durch die Veränderungen der Lebens- und Arbeitswelten durch den fortschreitenden Einfluss der Technologie ausgelöst. Die 1980er Jahre waren prägend für diese Diskurslinie und eine zentrale Rolle nahm ursprünglich der Computer als aufstrebendes Universalwerkzeug mit zunehmend wirtschaftlicher Bedeutung ein. Es wurde angenommen, dass ein technologisches Grundverständnis für dessen sachgerechte Nutzung unabdingbar ist und somit Teil der Allgemeinbildung sein muss. Die Diskurslinie ist von Beginn an stark mit der Entwicklung der Informatik als eigenständige Disziplin verwoben und als Zielsetzungen sind neben technologischem Verständnis auch pragmatische Kompetenzen der Anwendung von Technologien dominant.

Da die informationstechnische Bildung ein bildungspolitischer Schwerpunkt wurde und etwa in einem BLK-Programm implementiert wurde, wirkt diese Diskurslinie bis heute nicht nur in informatiknahen Diskursen mit Bezug zur Digitalisierung deutlich nach. In Retrospektive wird der Diskurslinie häufig eine zu starke gesellschaftlich-funktionale Ausrichtung attestiert (z. B. Tulodziecki, 2016).

Das die Diskurslinie prägende „Gesamtkonzept für die informationstechnische Bildung“ (BLK, 1987) differenzierte von der Sekundarstufe bis hin zur tertiären Bildung verschiedene Bereiche aus, wobei für die allgemeinbildende Schule eine (1) informationstechnische Grundbildung und eine (2) vertiefende informationstechnische Bildung in Form der Informatik unterschieden wurden.

Die *informationstechnische Grundbildung* wurde in der (fortgeschrittenen) Sekundarstufe I verortet, als Beitrag zu einer „erweiterten allgemeinen Bildung“ (BLK, 1987, S. 13) und als vorwiegend integrativ innerhalb der vorhandenen Fächer zu realisieren verstanden. Es war vorgesehen, die Lernenden nicht nur in die Bedienung der Technologien (u. a. „Einführung in die Handhabung eines Computers und dessen Peripherie“, S. 12), sondern auch in zentrale Arbeitsweisen einzuführen (u. a. „Einführung in die Darstellung von Problemlösungen in algorithmischer Form“, S. 12). Letzteres wird heute in Konzepten des *Computational Thinking* gefasst (vgl. z. B. Eickelmann et al., 2019). Die *vertiefende informationstechnische Bildung in Form der Informatik* baute auf der informationstechnischen Grundbildung auf und war als wissenschaftspropädeutisches Fach für die Oberstufe konzipiert. Deren Konzeption bildete konsequent die damals zentralen Themen der aufstrebenden technisch orien-

tierten Informatik ab (S. 14f., u. a. Vermittlung von Kenntnissen bestimmter Programmiersprachen, Erörterung von Prozesssteuerung durch Mikroprozessoren) und muss als Skizze für ein eigenständiges Fach Informatik in der Oberstufe gelesen werden.

In der Tradition der allgemeinbildend konzipierten informationstechnischen Grundbildung steht heute zum Beispiel die Konzeption der internationalen ICILS-Studie (Senkbeil et al., 2019). Hier werden *computer- und informationsbezogene Kompetenzen* (ICT Literacy) und *Computational Thinking* ausdifferenziert. *ICT Literacy* wird mit Hilfe von vier Teilbereichen strukturiert (über Wissen zur Nutzung von Computern verfügen, Informationen sammeln und organisieren, Informationen erzeugen, digitale Kommunikation). *Computational Thinking* werden zwei Teilbereiche untergeordnet (Probleme konzeptualisieren, Lösungen operationalisieren).

Auch das Digital Competence Framework for Citizens (DigComp) der EU kann primär unter einer pragmatischen Perspektive (etwa im Sinne von Fertigkeiten) verortet werden (Vuorikari et al., 2022). Die aktuelle Version 2.2 umfasst Kompetenzen in 5 Bereichen, darunter etwa *Information and Data Literacy*, *Communication and Collaboration* oder *Problem Solving*, die jeweils bezüglich der Anforderungen in Bezug auf zugrundeliegendes Wissen, konkrete Fertigkeiten und zugehörige Einstellungen ausdifferenziert werden. Dabei umfasst die Einstellungskomponente beispielsweise auch volitionale Aspekte (z. B. Offenheit für neue Technologien).

Weitere aktuelle Konzeptionen stehen zumindest in Teilen in Tradition der informationstechnischen Grundbildung. Hier sei stellvertretend das sogenannte Dagstuhl-Dreieck (Gesellschaft für Informatik [GI], 2016) aufgegriffen. Das Dreieck versteht sich als eine Strukturierungshilfe für *Digitale Bildung*, die im Rahmen der allgemeinbildenden Schule erworben werden soll. Es wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit federführend von Personen der Informatik und ihrer Didaktik (unter anderem mit Vertretenden der Medienpädagogik) erarbeitet, so dass es strenggenommen die hier portraitierte Diskurslinie mit Bezug zur informationstechnischen Grundbildung, mit der in Abschnitt 3.2. portraitierten mit Bezug zur Medienpädagogik integriert. Interessant ist nun an dieser Stelle, dass in dem Dagstuhl-Dreieck eine pragmatische Anwendungsperspektive („Wie nutze ich das?“) und eine informatisch-technische Perspektive („Wie funktioniert das?“) differenziert werden.

In dieser Hinsicht leistet das Dagstuhl-Dreieck einen eigenständigen Beitrag in der Tradition der informationstechnischen Grundbildung, da es eine pointierte Strukturierung vorschlägt: Pragmatische Kompetenzen werden von Kompetenzen separiert, die informatisch-technisch geprägt sind und sich beispielsweise auf das Verständnis grundlegender informatischer Konzepte beziehen, die aber auch als allgemeinbildend verstanden werden (GI, 2016, S. 3). Beispiele für solche grundlegenden Konzepte wären Algorithmus, Verschlüsselung (z. B. Lindmeier & Mühling, 2020), Debugging oder aber Netzwerkstrukturen (z. B. Diethelm & Zumbrägel, 2010).

Im originalen Konzept informationstechnischer Grundbildung ist eine Differenzierung zwischen Anwendungen und konzeptuellen Grundlagen (BLK, 1987) so nicht zu erkennen. Bildet man die beiden ICILS-Konstrukte (*ICT Literacy* und *Com-*

*putational Thinking*) auf diese beiden Bezugspunkte des Dagstuhl-Dreiecks ab, so wären *Computational Thinking* und Teile der *ICT Literacy* (z.B. Problem Solving) unter der informatisch-technischen Perspektive zu verorten. Letztere umfasst jedoch weiterführende informatisch geprägte Aspekte, die in den ICILS-Konstrukten (bisher) nicht berücksichtigt sind.

Zusammenfassend werden in der ersten hier aufgegriffenen Diskurslinie also primär bestimmte Fertigkeiten und Fähigkeiten zur zielgerichteten Nutzung von digitalen Werkzeugen, Medien oder Systemen betrachtet. Es wird dabei angenommen, dass dazu grundlegendes informatisch-technisches Wissen, pragmatische Kompetenzen sowie zugehörigen Arbeitsweisen und geeignete Einstellungen benötigt werden. Tragend für diese Diskurslinie ist eine Sicht auf digitale Technologien in Form von Werkzeugen, also (universelle oder bereichsspezifische) Hilfsmittel zur Lösung von Problemen. Die identifizierten Kompetenzbereiche werden unterschiedlich aufgelöst, es lassen sich grob folgende Bereiche unterscheiden: (1) Grundlegende Bedienkompetenzen, (2) Kompetenzen zum Erheben, Verarbeiten, Speichern von Daten, (3) Kompetenzen zur digital-gestützten Kommunikation und Kollaboration, (4) digitales Problemlösen und Produzieren.

In Bezug auf Werkzeuge, Medien oder Systeme besteht prinzipiell eine Offenheit. Die aktuellen Frameworks verweisen mit einem allgemeinbildenden Anspruch auf eine große Bandbreite von Technologien aus dem privaten und beruflichen Bereich, meist jedoch ohne auf spezifische Programme oder Anbieter zu rekurrieren (in DigComp2.2 wird u.a. verwiesen auf: soziale Medien, Chats, Wiki, Browser, Videoschnittprogramme, Repositorien, Cloudspeicher, relationale Datenbanken, Präsentationssoftware, Tabellenkalkulation, blockbasierte Programmierung). Zudem werden teilweise stärker (5) allgemeinbildende informatische Konzepte als tragende Struktur in dieser Diskurslinie verortet.

Der Diskurslinie der informationstechnologischen Grundbildung wird teils eine einseitige, mathematisch-naturwissenschaftliche Prägung attestiert. Zudem wird die funktional-pragmatische Ausrichtung kritisiert (Tulodziecki, 2016) und letztere teils sogar als unverträglich mit dem Bildungsbegriff im Humboldtschen Sinne gesehen (Wiater, 2018). Dabei sei trotz der holzschnittartigen Darstellung an dieser Stelle nicht unterschlagen, dass bereits das Gesamtkonzept von 1987 Aspekte einer kritischen Medienbildung umfasst (vgl. Abschnitt 3.2, u.a. „Darstellung der Chancen und Risiken der Informationstechniken sowie Aufbau eines rationalen Verhältnisses zu diesen“, BLK, 1987, S. 12). Auch die ICILS-Konzeptualisierungen, der DigComp-Rahmen und als integratives Konzept auch das Dagstuhl-Dreieck umfassen oder betonen sogar im Sinne eines Bildungsziels der kritischen Mündigkeit die kritisch-distanzierte Reflexion des Umgangs mit digitalen Werkzeugen, Medien oder Systemen. Die Bezüge zu einer funktional-pragmatischen Sicht, motiviert über die Bewältigung von Anforderungen in der zukünftigen Berufs- und Lebenswelt, sind jedoch in dieser Diskurslinie immer zu erkennen. Es ist außerdem in der Retrospektive nicht von der Hand zu weisen, dass die Maßnahmen zur Implementierung informationstechnischer Grundbildung im Unterricht zuerst stark auf die Einbeziehung neuer Tools

fokussiert haben. Auch die damit verbundenen praktischen Erfahrungen haben die Wahrnehmung der Diskurslinie mit Bezug zur informationstechnischen Grundbildung geprägt (vgl. Evaluation der Modellversuche im SEMIK Programm der BLK, Mandl et al., 2003, S. 291).

### 3.2 Diskurslinie mit Bezug zur Medienpädagogik

Eine relevante zweite und stärker pädagogisch geprägte Diskurslinie hat sich auf Basis vorgängiger Konzepte entlang des Begriffs der *Medienkompetenz*<sup>4</sup> parallel zur Diskurslinie der informationstechnischen Grundbildung entwickelt. Medien werden dabei im Kern als kommunikative Mittel verstanden, wobei zwischen primären sprachlichen, sekundären schriftlichen und tertiären technischen Medien unterschieden werden kann (Barberi, 2017). Gerade die Medienkompetenz mit Bezug zu technischen Medien ist für eine mögliche Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung relevant, wobei es im Rahmen der Medienpädagogik nicht sachadäquat erscheint, hier eine Engführung vorzunehmen. Die Diskurslinie ist stark soziologisch orientiert und steht in Beziehung zur kritischen Pädagogik. Eine Grundannahme dieser Diskurslinie ist, dass Medienkompetenz zentral für zukunftsorientierte Handlungsfähigkeit und gesellschaftliche Teilhabe ist, da Medien konstituierend für die Gesellschaft sind (Verständig, 2020). Sie hat in medienpädagogischen bildungspolitischen Zielsetzungen breiten Niederschlag gefunden.

Als Ausgangspunkt der Medienpädagogik gelten Arbeiten zur Konzeptualisierung der Medienkompetenz von Baacke (z. B. 1999, mit Vorläufern z. B. als Medien-erziehung vgl. Barberi, 2017). Hier werden vier Teilkompetenzen von Medienkompetenz unterschieden, die als moderne Form einer Kommunikationskompetenz zentrale Entwicklungs- und Emanzipationsaufgaben des Menschen darstellen (Blömeke, 2001). Knapp skizziert handelt es sich bei den vier Teilkompetenzen um Medienkunde (Medien kennen und bedienen können), Mediennutzung (Medien zielgerichtet nutzen können), Mediengestaltung (Medien weiterentwickeln und kreativ nutzen können) und Medienkritik (Medien angemessen auch unter der gesellschaftlichen Perspektive beurteilen können). Die Medienkompetenz nach Baacke bildet einen eigenständigen Orientierungsrahmen für pädagogische Zielvorstellungen von Kompetenzen mit Bezug zur Digitalisierung, bleibt dabei aber gleichzeitig sehr abstrakt.

Ein zweiter prominenter Strang innerhalb dieser Diskurslinie geht zurück auf die Konzeptualisierung von Medienkompetenz nach Tulodziecki (z. B. Tulodziecki, 1998). Ihr liegt die Entwicklung von Selbstbestimmtheit, Gerechtigkeit und sozialer Verantwortung jedes Menschen als Orientierung zu Grunde (s. a. Blömeke, 2001; Tulodziecki, 1998). Tulodziecki fasst in einem Kompetenzrahmen zusammen, was digital kompetente Schülerinnen und Schüler leisten sollen, und bemüht sich damit um

4 In diesem Text wird zum Zweck der überblicksartigen Darstellung nicht feinkörnig zwischen Medienbildung und Medienkompetenz unterschieden (vgl. aber Hugger, 2021).

eine Konkretisierung von Zielen der Medienpädagogik. Dabei sind fünf Teilkompetenzen von Medienkompetenz zu unterscheiden (Formulierung nach Blömeke, 2001): (1) Auswählen und Nutzen von Medienangeboten (unter Abwägung von Handlungsalternativen), (2) Eigenes Gestalten und Verbreiten von Medienbeiträgen, (3) Verstehen und Bewerten von Mediengestaltungen, (4) Erkennen und Aufarbeiten von Medieneinflüssen, (5) Durchschauen und Beurteilen von Bedingungen der Medienproduktion und Medienverbreitung.

Auch wenn innerhalb der Medienpädagogik teils kontroverse Diskussionen um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten verschiedener Ansätze vorliegen, die von außen nicht immer im Detail nachzuvollziehen sind, sieht Herzig (2021) zusammenfassend das aktuelle Bildungsverständnis in der medienpädagogischen Diskurslinie generell unter der Zielsetzung, „sachgerechtes, selbstbestimmtes, kreatives und sozial verantwortliches Handeln in Bezug auf Medien“ zu ermöglichen (Herzig, 2021, S. 5). Wenn in medienpädagogischen Ansätzen Ziele konkretisiert werden – was nicht immer zum Selbstverständnis gehört (zsf. z. B. Jörissen, 2011) – dann tritt entsprechend der kritisch-reflexive Umgang mit Medien in das Zentrum des Interesses (Tulodziecki, 2016). Zielsetzungen bleiben aber auch bei Ausarbeitung in dieser Diskurslinie häufig vage.

Neben einem abstrakten Medienbildungsverständnis haben Ansätze aus der medienpädagogischen Diskurslinie gemeinsam, dass sie auf einen kommunikativen Medienbegriff rekurrieren, was aus aktueller Perspektive einengend erscheinen kann. Pointiert gesprochen ist medienpädagogischen Ansätzen häufig anzusehen, dass der Umgang mit Zeitung, Fernsehen und Internet als Informationsquellen, die prinzipiell auch Instrumente von Macht sein können, lange bestimmend für Fragen der Medienpädagogik waren. Zwar gibt es Aktualisierungsbemühungen, sodass unter einer strukturalen Perspektive beispielsweise auch Kommunikationsformen der sozialen Netzwerke gefasst werden (Mediatisierung, z. B. Jörissen & Marotzki, 2009; vgl. Aktualisierungsvorschlag für den Medienbegriff bei Tulodziecki, 2016). Im Kern bleibt der Medienbegriff dabei immer an Kommunikation und Kommunikationsabsichten gebunden. Das erschwert die Anbindung medienpädagogischer Konzepte an Fachrichtungen, wo sich Konzepte für digitale Kompetenzen stärker an der Nutzung digitaler Werkzeuge zum Lösen von Problemen orientieren. Nichtsdestotrotz gibt es Rezeptionen der medienpädagogischen Diskurslinie auch im Fach Mathematik (z. B. Hischer, 2016).

Die medienpädagogische Diskurslinie erwies sich bildungspolitisch als sehr prägend. So spiegelt beispielsweise der KMK-Beschluss „Medienbildung in der Schule“ (KMK, 2012b) oder ein Medienkompetenzkonzept in Form eines Positionspapiers der Länderkonferenz MedienBildung<sup>5</sup> (LKM, 2015), das als Zielvorstellung für den Mittleren Schulabschluss konzipiert ist, deutlich einen medienpädagogischen Geist

5 Die Länderkonferenz MedienBildung ist ein freiwilliger Zusammenschluss der Leiter\*innen der Landesmedienzentren und der entsprechenden Medienabteilungen in den pädagogischen Landesinstituten. Da diese für die Implementierung von Medienbildungskonzepten in den Ländern zuständig sind, kann das Positionspapier als Indikator dafür genutzt werden, dass die medienpädagogischen Konzepte in der Schulpraxis angekommen sind.

wider. Indem medienpädagogische Konzeptionen höchstens in geringem Umfang funktional-pragmatisch geprägt sind, werden sie teils als Gegenentwurf zu Beiträgen aus der ersten Diskurslinie positioniert oder als solche gelesen. Zum Teil grenzen sich bestimmte medienpädagogische Subdiskurse, etwa bildungstheoretische Diskurse zur Medienbildung im engeren Sinne, sogar explizit von jeglicher pragmatischen Perspektive ab (zsf. Barberi, 2017; Hugger, 2021; Jörissen, 2011). Es sind aber auch integrative Bemühungen zu erkennen, beispielsweise im interdisziplinär erarbeiteten Ansatz des Dagstuhl-Dreiecks (vgl. Abschnitt 3.1; GI, 2016).

### 3.3 Diskurslinie mit Bezug zum Lernen in einer digitalen Welt

Für die Bestimmung einer möglichen Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung soll hier schließlich eine dritte Diskurslinie aufgegriffen werden, die nochmals von einem anderen Ausgangspunkt startet: Digitale Werkzeuge, Medien oder Systeme erscheinen in Abgrenzung zu den anderen beiden Diskurslinien hier unter einer instrumentellen Perspektive, also als (Hilfs-)Mittel zur Erreichung fachlicher und überfachlicher Ziele (Scheiter, 2021). Die Spannbreite der betrachteten digital gestützten Lernszenarien reicht von autodidaktischen Prozessen, etwa in Online-Kursen, über betreute Lernprozesse, etwa wenn im Rahmen des Unterrichts spezifische Trainings-tools eingesetzt werden, bis hin zu sozialen Lernprozessen, etwa wenn eine Interessensgruppe sich online austauscht (zsf. Kerres, 2013).

Es stellt sich nun erstens die Frage, über welche Kompetenzen jemand zur Bewältigung digital gestützter Lernprozesse verfügen muss. Damit verbunden ist zweitens die zugespitzte Frage, welche Kompetenzen für das *zukünftige* Lernen in einer Kultur der Digitalität benötigt werden und entsprechend in der Schule erworben werden sollen (vgl. Beiträge zur Studierfähigkeit, Kap. 1.3 sowie zur Allgemeinbildung, Kap. 1.1 in diesem Band). Die Antwort auf diese Frage unterliegt aufgrund ihres Zukunftsbezugs naturgemäß hoher Unsicherheit. Es wird aber im Einklang mit den oben skizzierten Überlegungen zur Kultur der Digitalität angenommen, dass die technologischen Entwicklungen dazu führen, dass die Zukunft weiterhin von einem hohen Maß an Volatilität geprägt ist, sodass Lernen über die Lebensspanne eine zentrale Bedingung für eine erfolgreiche gesellschaftliche Teilhabe ist. Für das Lernen unter Bedingungen einer Kultur der Digitalität wird angenommen, dass es zunehmend auch in informellen Kontexten stattfindet und von der Nutzung digitaler Werkzeuge, Medien oder Systeme geprägt ist. Außerdem könnten Lerngelegenheiten direkt an entstehenden – etwa beruflichen – Problemen ansetzen und damit Lernen in höherem Maße problembasiert sein. Dabei könnten einerseits hochgradig individualisierte Lerngelegenheiten, andererseits zunehmend kooperative Settings auftreten.

Antworten auf die Frage, welche Kompetenzen für das Lernen unter solchen Bedingungen voraussichtlich besonders relevant sein werden, werden beispielsweise im

Rahmen von Konzepten der 21st Century Skills<sup>6</sup> bearbeitet. Exemplarisch sei das KSAVE Model (Binkley et al., 2012) herangezogen, das eine Synthese verschiedener Ansätze darstellt. Es umfasst 10 Komponenten in 4 Bereichen, wobei Überschneidungen mit Kompetenzen auftreten, die hier unter den anderen beiden Diskurslinien bereits bearbeitet wurden (z. B. ICT Literacy, Critical Thinking, vgl. auch van Laar et al., 2017 zu Überschneidungen von Konstrukten digitaler Kompetenz und 21st Century Skills).

Im Unterpunkt *Learning to Learn/Metacognition* aus dem Bereich *Ways of Thinking* wird die besondere Rolle von bestimmten personalen und motivationalen Kompetenzaspekten für digital gestützte Lernprozesse betont. Im Einklang mit Forschungserkenntnissen zum Lernen mit digitalen Medien werden etwa Fähigkeiten zur Selbstregulation (z. B. beim Lernen, bei der Informationsverarbeitung), motivationale Kompetenzaspekte, wie digitalisierungsbezogene Selbstwirksamkeitserwartungen (d. h. Eigenwahrnehmung als digital kompetente Person) oder positive digitalisierungsbezogene Einstellungen wie beispielsweise Offenheit für neue Lösungsansätze aufgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich solche personalen und motivationalen Kompetenzaspekte, die hier nur angerissen werden können, für Lernprozesse allgemein als relevant erweisen (vgl. auch Beitrag zur Studierfähigkeit, Kap. 1.3 in diesem Band, der dies differenzierter ausführt). Insbesondere konnte ihre Bedeutung aber auch im Kontext digital gestützter Lernprozesse nachgewiesen werden (z. B. E-Learning, zsf. Kerres, 2013).

Die Beobachtung, dass personale und motivationale Aspekte von Kompetenz sich in verschiedenen Lernkontexten durchgängig als bedeutsam erweisen, bedeutet jedoch nicht, dass es sich um generische Eigenschaften einer Person handelt. Vielmehr geht man davon aus, dass es sich um sozial geprägte Faktoren handelt, die entsprechend bereichsspezifisch erworben werden (zsf. Zimmerman, 2000). Am Beispiel würde dies bedeuten, dass eine Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich digital gestützter Lernprozesse durch entsprechende Erfahrungen geprägt wird und sich von Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich anderer Lernbedingungen unterscheiden kann.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass unter den skizzierten Annahmen zum zukünftigen Lernen aus dieser Diskurslinie ein eigenständiger Beitrag zum Bestimmungsproblem für eine mögliche Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung zu erkennen ist. Diese Linie betont in besonderem Maße, wenn auch nicht exklusiv, personale und motivationale Aspekte von Kompetenz als Voraussetzung für erfolgreiche zukünftige Lernprozesse, die der Argumentation folgend jedoch in einer Kultur der Digitalität konsequent auch digitalisierungsbezogen ausgebildet werden müssten. Es zeigt sich, dass dafür die Gelegenheit bestehen muss, entsprechende Erfahrungen mit digitalen Lernprozessen zu machen. Ungelöst bleibt dabei das Pro-

6 21st Century Skills zielen auf die vollumfängliche Fassung der Kompetenzen, die für erfolgreiche Teilhabe an zukünftigen Gesellschaften benötigt werden. Die Frameworks sind klar mit Blick auf ökonomische Interessen und teilweise zusammen mit US-amerikanischen Firmen entwickelt worden (z. B. Trilling & Fadel, 2009). In diesem Abschnitt wird nur der Abschnitt rezipiert, der sich auf Lernprozesse bezieht.

blem, dass Annahmen über die Natur des zukünftigen Lernens zu treffen sind, die mit Unsicherheit behaftet bleiben.

### 3.4 Synthese eines Rahmenmodells für eine mögliche Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung

Mit dem Strategiepapier „Kompetenzen in der digitalen Welt“ (KMK, 2016) und seiner Ergänzung (KMK, 2021) legte die KMK einen Orientierungsrahmen vor, der durch die drei skizzierten Diskurslinien geprägt ist. So wird in der Strategie von 2016 explizit darauf verwiesen, dass sie die älteren Diskurse der informationstechnischen Grundbildung (Diskurslinie 1) und der Medienpädagogik (Diskurslinie 2) aufgreift. In der Erweiterung von 2021 werden zusätzlich – und in Reaktion auf eine Empfehlung der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission (SWK) der KMK – verstärkt Aspekte digitalen Lernens (Diskurslinie 3) aufgegriffen. Man kann also in den aktuellen bildungspolitischen Rahmensetzungen den Versuch einer Synthese erkennen.

Die im Strategiepapier definierten Kompetenzen (in diesem Kapitel im Folgenden als KMK-Kompetenzen bezeichnet) sollen verbindlich darlegen, „über welche Kenntnisse, Kompetenzen und Fähigkeiten Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Pflichtschulzeit verfügen sollen, damit sie zu einem selbstständigen und mündigen Leben in einer digitalen Welt befähigt werden“ (S. 11). Sie bilden also zuerst einen Orientierungsrahmen für Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung, die zum Eintritt in die gymnasiale Oberstufe schon erworben sein und dort (vermutlich) vertieft werden sollten.<sup>7</sup> Dazu werden die KMK-Kompetenzen in sechs Bereichen (1) Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren, (2) Kommunizieren und Kooperieren, (3) Produzieren und Präsentieren, (4) Schützen und sicher Agieren, (5) Problemlösen und Handeln, (6) Analysieren und Reflektieren strukturiert und ausformuliert. Die Bereiche werden keinem isolierten Lernbereich zugeordnet, sondern sollen durch Beiträge der einzelnen Unterrichtsfächer erworben werden.

Dass das im Strategiepapier der KMK entworfene Konzept ein kompromissgetragener Syntheseversuch ist, welcher in der vorliegenden Form noch einer Weiterentwicklung bedarf, zeigt sich an kritischen Einwänden aus verschiedensten Richtungen. So ist es aus Sicht der Disziplin Informatik und ihrer Didaktik nicht in jeder Hinsicht gelungen, die allgemeinbildenden informatischen Aspekte adäquat abzubilden (Brinda, 2016).<sup>8</sup> Aus Sicht der (kritischen) Medienpädagogik wird einerseits eine zu starke Betonung der pragmatischen Aspekte moniert und andererseits bemängelt,

7 Wie bereits erwähnt, gibt es in der KMK-Strategie keinen Hinweis auf die gymnasiale Oberstufe.

8 Gleichzeitig zeigt eine exemplarische Analyse auf Basis der Niedersächsischen Curricula, dass es für einen erheblichen Anteil der KMK-Kompetenzen (bisher) keine Lerngelegenheiten in den Pflichtfächern, wohl aber in dem fakultativen Fach Informatik gibt, wodurch die KMK-Kompetenzen auch zur Legitimation eines Pflichtfachs Informatik herangezogen werden können (Diethelm & Glücks, 2019).

dass gesellschaftlich-strukturelle Aspekte (Mediatisierung, Jörissen & Marotzki, 2009) im Kontrast zur Digitalisierung zu stark in den Hintergrund getreten sind (Herzig, 2021). Den KMK-Kompetenzen wird daher eine funktionale Verkürzung von medienpädagogischen Perspektiven auf qualifikatorische Absichten unterstellt (Altenrath et al., 2020).

Aus Perspektive der Fächer wird zum einen aufgegriffen, dass die Kompetenzen zwingend fachlich ausgestaltet werden müssen (GFD, 2018, S. 1, „Ohne Fachlichkeit besitzen digitale Kompetenzen keinen Gegenstand, an dem sie sich beweisen bzw. fruchtbar werden können“; GDM, 2017). Andererseits wird auch bemängelt, dass „neue digitale fachliche Kompetenzanforderungen“ (GFD, 2018, S. 2) sich nicht explizit in den KMK-Kompetenzen widerspiegeln und sich auch nicht einpassen lassen. Konkret werden etwa laut Oldenburg (2020) aus Perspektive der Mathematikdidaktik im Bereich Problemlösen wichtige Kompetenzen mit Bezug zu digitalen Mathematikwerkzeugen nur implizit und nicht in der vollen Breite angesprochen. Damit wird deutlich, dass nicht nur eine fachliche Konkretisierung der KMK-Kompetenzen notwendig ist. Die Ausgestaltung fachlich geprägter Bildungsziele mit Bezug zur Digitalisierung über den KMK-Kompetenzrahmen hinaus scheint notwendig.

Die Empfehlung zur Weiterentwicklung der Digitalstrategie (SWK, 2021) greift die aufgezeigten Kritikpunkte in Teilen auch auf: Der KMK-Kompetenzrahmen sei zu ergänzen und gleichzeitig auszuscharfen, indem (a) fachspezifische und (b) fachübergreifende Bereiche (in Form von ICT Literacy) sowie (c) ein informatisch geprägter Bereich unterschieden werden sollte. Kritische Reflexionskompetenzen seien dabei, mit Blick auf die Kritikpunkte aus dem Bereich Medienpädagogik, in allen Bereichen mitzudenken.<sup>9</sup> Sollte diese Richtung der Weiterentwicklung eingeschlagen werden, dürfte die Ausgangsversion der KMK-Kompetenzen den Kern des fachübergreifenden Bereichs (b) bilden.

Der informatisch geprägte Bereich (c) wird in der Empfehlung zur Weiterentwicklung der KMK-Kompetenzen vornehmlich als Aufgabe eines Fachs Informatik gesehen. Es scheint, also ob allgemeinbildende informatisch-technische Zielsetzungen – anders als in dem oben portraitierten Dagstuhl-Dreieck, aber ähnlich zur ersten Konzeptualisierung informationstechnischer Bildung – klar in die Zuständigkeit eines Fachs Informatik verwiesen werden. Die disziplinäre Verantwortung ist sinnvoll, aber ob des grundlegenden Charakters ist sicherzustellen, dass das Fach Informatik dann konsequent auch als allgemeinbildendes Fach spätestens in der Sekundarstufe I implementiert wird. Andernfalls besteht die Gefahr, dass grundlegende Zielsetzungen im informatisch-technischen Bereich nicht als Teil einer übergreifenden Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung verstanden werden und möglicherweise erst in der gymnasialen Oberstufe und insbesondere nicht systematisch adressiert werden.

---

<sup>9</sup> In einer weiteren Stellungnahme aus dem Bereich der Medienpädagogik wird der SWK-Empfehlung vorgeworfen, medienpädagogische Bestände nur lose zu berücksichtigen (Braun et al., 2021).

Damit wird deutlich, dass die derzeit vorliegenden Rahmenmodelle jeweils nur in verschiedenen Ausschnitten erfassen, was aus den obigen Diskurslinien als relevant für eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung identifiziert wurde. Ein mögliches orientierendes umfassenderes Rahmenmodell auf Basis der Diskurslinien ist in Abbildung 1 skizziert.

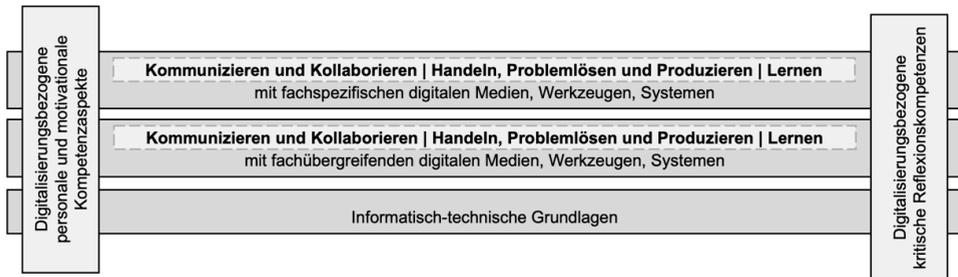


Abbildung 1: Rahmenmodell für eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung als Synthese der zentralen Diskurslinien.

Dieses ist einerseits entlang der Empfehlung der SWK in drei verschiedene Kompetenzbereiche strukturiert (vgl. Abb. 1, horizontale Kästen): Der Bereich informatisch-technische Grundlagen soll Aspekte umfassen, die aus allgemeinbildender Sicht Antworten auf die Frage „Wie funktioniert das?“ geben (vgl. Abschnitt 3.1)<sup>10</sup>. Die beiden Bereiche mit Bezug zu *fachübergreifenden* sowie *fachspezifischen* digitalen Medien, Werkzeugen und Systemen greifen pragmatische Perspektiven auf, betonen jedoch, dass es neben geteilten, fachübergreifenden Aufgaben auch spezifische Aufgaben der Fächer gibt. Um eine Engführung auf den (kommunikativen) Medien-Begriff zu vermeiden, wurden hier explizit auch Werkzeuge und Systeme aufgenommen. Damit können fachliche Eigenheiten, wie beispielsweise Schwerpunkte im Problemlösen mit digitalen Werkzeugen im Fach Mathematik oder im Umgang mit digitalen Systemen im Fach Informatik berücksichtigt werden, wobei der Begriff Technologien möglicherweise als Überbegriff zur Vereinfachung geeignet wäre.

Der fachspezifische und fachübergreifende Kompetenzbereich sollte jeweils auf der Kenntnis zentraler zugehöriger Konzepte aufbauen (nicht dargestellt in Abb. 1, z.B. fachübergreifend: Was ist ein Blog?; fachspezifisch: Was ist ein Computeralgebrasystem (CAS)?). Aus pragmatischer Sicht ist darauf zu achten, dass Bedienkompetenzen (nicht dargestellt in Abb. 1), aber auch Kompetenzen mit Bezug zu typischen Nutzungsweisen adressiert werden, wobei durch letztere die qualifizierende Wirkung erst zum Tragen kommt. Um dies zu betonen, sind im Modell innerhalb der Bereiche Nutzungsweisen dargestellt (gebrochen umrandet). Mit Blick auf die Vorschlä-

<sup>10</sup> Es ist dabei zu betonen, dass hier klare Bezüge zur Disziplin Informatik auftreten. Neben informatisch-technischer Grundlagen kann ein Fach Informatik aber weitere eigenständige Beiträge leisten (vgl. Schulte & Scheel, 2001) und es ist zu eruieren, inwiefern andere Fächer ebenso einen Beitrag zu informatisch-technischen Grundlagen leisten können (z.B. Physik, vgl. Abschnitt 4.1 für Überlegungen zur Oberstufen-Mathematik).

ge aus den rezipierten Diskurslinien (Abschnitte 3.1–3.3) könnte eine Strukturierung in drei Nutzungsweisen, nämlich (1) Kommunikation und Kollaboration, (2) Handeln, Problemlösen und Produzieren sowie (3) Lernen genügen, um eine notwendige Bandbreite aufzuspannen. Häufig gesondert ausgewiesene Kompetenzen zur Informationsverarbeitung lassen sich in dem vorgeschlagenen Rahmenmodell teils in *Handeln, Problemlösen und Produzieren* (z. B. ICILS-ICT: Informationen umwandeln für Darstellungen), teils in dem Bereich informatisch-technischer Grundlagen (z. B. ICILS-ICT: Informationen organisieren in Dateistrukturen) verorten. Die drei Nutzungsweisen sind nicht überlappungsfrei zu verstehen, was am Beispiel des digital gestützten, kollaborativen Lernens einsichtig wird.

Extra ausgewiesen werden schließlich in dem Rahmenmodell noch digitalisierungsbezogene personale und motivationale Kompetenzaspekte (vgl. Abschnitt 3.3.) und digitalisierungsbezogene kritische Reflexionskompetenzen (vgl. Abschnitt 3.2) (siehe Abb. 1, vertikale Kästen). Dies spiegelt die Annahme wider, dass beide Bereiche nicht unabhängig von konkreten Erfahrungen im Umgang mit digitalen Medien, Werkzeugen oder Systemen erworben werden können, sondern darauf angewiesen sind. Es sei dabei betont, dass sie hier auch nicht als nachgeordnete, optionale oder im Sinne eines Additums speziellen Populationen zugedachte Kompetenzen verstanden werden, sondern integraler Bestandteil der Bemühungen einer möglichen Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung sein müssen. Man könnte durchaus – im Anschluss an die Medienpädagogik – diskutieren, dass der bildende Gehalt sich erst durch die Ausbildung dieser querliegenden Kompetenzbereiche manifestiert.

Das hier vorgeschlagene Rahmenmodell für eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung fußt auf Konzepten mit mehrheitlich Allgemeinbildungsanspruch und ist damit nicht als Zielsetzung nur einzelner Bildungsabschnitte, insbesondere auch nicht alleine der gymnasialen Oberstufe, zu interpretieren. Es grenzt sich von anderen Verständnissen digitaler Kompetenz ab, indem es erstens die zentralen Diskurslinien integriert. Dabei werden zweitens besonders notwendige Fähigkeiten zur reflektierten Nutzung von digitalen Technologien inklusive etwaiger situationsabhängiger Nicht-Nutzung betont, die sich auf der Basis von Erfahrungen in verschiedenen fachlichen und fachübergreifenden Kontexten entfalten sollen. Als eine Grundlage für die reflektierte Nutzung müssen drittens Aspekte einer informatisch-technischen Grundbildung berücksichtigt werden. Durch die Betonung der Nutzungsweisen ist die Zielvorstellung aber offen für die verschiedenen Logiken der spezifischen Anwendungsgebiete (z. B. fachliche, berufliche, gesellschaftliche Kontexte). Digital kompetent zu sein, setzt in diesem Sinne voraus, relevante Herausforderungen, welche beispielsweise Bezüge zur Kommunikation aufweisen, Probleme oder auch eine Lernanforderung darstellen, unter Bedingungen der Kultur der Digitalität selbstbestimmt so zu bearbeiten, dass es den Kriterien des Bezugsfelds genügt (d. h. sachgerecht ist) und sozial verantwortlich ist. Das Rahmenmodell lässt Raum für die klare Betonung des Bezugs zur Lebensumwelt durch eine praktisch-habituelle Komponente, die aber nicht auf funktionale Kompetenz eingeschränkt ist und könn-

te auch aus Perspektive der Medienpädagogik als anschlussfähig gelten (vgl. auch Überlegungen zu anschlussfähigen Bildungsbegriffen bei Tulodziecki, 2016).

#### 4 Welchen Beitrag kann das Fach Mathematik in der gymnasialen Oberstufe zu Zielen mit Bezug zur Digitalisierung leisten?

Auf Grundlage des Rahmenmodells soll nun exemplarisch ausgelotet werden, welche konkreten Beiträge das Fach Mathematik speziell in der Oberstufe zu einer Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung leisten könnte. Dabei soll zuerst der mögliche indirekte Beitrag des Fachs Mathematik zum Bereich der informatisch-technischen Grundlagen kurz angerissen werden. Er wird hier als indirekter Beitrag charakterisiert, da es nicht zu erwarten ist, dass das Fach Mathematik informatisch-technische Grundlagen direkt thematisiert, aber gegebenenfalls zu deren Verständnis beitragen kann. Danach wird es ausführlicher um mögliche direkte Beiträge im Zusammenhang mit fachspezifischen Werkzeugen gehen. Mögliche Beiträge zu fachübergreifenden Aspekten können im Rahmen dieses Beitrags nicht behandelt werden, Ansätze sind aber beispielsweise bei Pallack (2018) und Hischer (2016) ableitbar.

Folgt man der Argumentation in Abschnitt 2 und betrachtet eine Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung nicht als eigenständige Zieldimension, sondern integriert sie in die bestehende Zieltrias aus vertiefter Allgemeinbildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit, dann besteht die Schwierigkeit darin, Gegenstände des Mathematikunterrichts in der Oberstufe nicht durch einen möglichen Beitrag zu digitalisierungsbezogenen Zielen zu legitimieren, sondern lediglich ihren möglichen Nebenertrag dafür zu betrachten. Trotzdem dürfen von querliegenden digitalisierungsbezogenen Zielen Impulse für die Ausgestaltung des Mathematikunterrichts abgeleitet werden.

##### 4.1 Mögliche indirekte Beiträge des Fachs Mathematik

In Abschnitt 3.1 wird der Bereich informatisch-technischer Grundlagen im Kern als das verstanden, was ein Schulfach Informatik zur allgemeinbildenden Beantwortung der Frage „Wie funktioniert das?“ beitragen kann. Insofern liegt die Deutungshoheit hier nicht in der Mathematik, sondern bei der Informatik. Grundsätzlich ist jedoch festzuhalten, dass sich Teile der Informatik, die ja selbst aus der Mathematik hervorgegangen ist, auch heute noch als stark mathematisch geprägt verstehen (v. a. theoretische Informatik, vgl. Knuth, 1974). Dies gilt für die Disziplin jedoch nicht in ihrer Gänze, die ein zweites starkes Standbein im Bereich der Ingenieurwissenschaften hat, insgesamt interdisziplinär arbeitet und in manchen Bereichen auch deutliche Bezüge zu den Gesellschaftswissenschaften aufweist (s. a. Heintz, 1994). Insofern wird hier von einem möglichen *indirekten* Beitrag des Fachs Mathematik gespro-

chen, wenn der Oberstufen-Mathematikunterricht dazu beitragen kann, ein (besseres) Verständnis für informatisch-technische Grundlagen zu erzielen.

Bei einem Blick auf den Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe lassen sich verschiedene potenzielle Bezugspunkte aufmachen, etwa bezüglich Gegenständen wie Algorithmen, Matrixschreibweisen, dem Bereich Stochastik oder der mathematischen Modellierung (KMK, 2012a).

Explizit erwähnt werden in den Bildungsstandards Algorithmen. Die zugehörige Zielsetzung bezieht sich auf „die Kenntnis, das Verstehen und das Anwenden mathematischer Verfahren, die prinzipiell automatisierbar und damit einer Rechnernutzung zugänglich sind“ (KMK, 2012a). Algorithmen aus mathematischer Sicht könnten ein wohlvertrauter Ausgangspunkt für vertiefte Betrachtungen aus informatischer Sicht sein. Prinzipiell könnten die zitierten Zielsetzungen mithilfe der zahlreichen eingeführten Verfahren bereits in der Sekundar- oder sogar Primarstufe (vgl. Krauthausen, 1993) bedient werden. Die Zielsetzungen könnten aber auch in der Oberstufe aufgegriffen werden, vor allem dort, wo dem Erwerb von Verfahren (z. B. Ableiten, Newton-Verfahren) zügig seine Auslagerung in technische Hilfsmittel wie beispielsweise CAS folgt.

Potenziale für indirekte Beiträge der Mathematik ergeben sich möglicherweise auch aus der Matrizendarstellung, die etwa zum Darstellen von Graphen, zum Finden kürzester Wege oder zur mathematischen Beschreibung von endlichen Automaten genutzt werden können. Je nach Ausgestaltung des Stochastikcurriculums könnten in der Sekundarstufe im Rahmen der beschreibenden Statistik gelegte Grundlagen für die aufstrebenden datenbasierten Technologien in der Oberstufe vertieft behandelt werden. Dies würde jedoch eine Umorientierung des aktuellen Kanons erfordern, etwa indem bivariate Zusammenhänge mittels Korrelation und Regression in größeren Datensätzen untersucht werden. Didaktische Konzepte zur Behandlung von Korrelation und Regression im Rahmen von Mathematikunterricht bestehen (z. B. Borovcnik, 1988; Engel & Sedlmeier, 2010), bivariate Daten werden jedoch derzeit allenfalls in der Sekundarstufe I (z. B. bei der Untersuchung des Zusammenhangs Kreisradius – Kreisumfang) und eher qualitativ untersucht (z. B. Idee der Ausgleichsgerade als Trend). Mit Blick auf Grundlagen für maschinelles Lernen (und weiterführende KI-Methoden) wäre es vermutlich notwendig, wenigstens ein Grundverständnis für die multiple Regression anzuzielen, was definitiv einen – wegen der größeren Datenmengen sowieso schon notwendigen – digitalen Werkzeugeinsatz erfordern würde, der derzeit in diesem Themenbereich nicht flächendeckend praktiziert wird.

Allgemein wird argumentiert, dass die in der Mathematik geübten Techniken der Abstrahierung und Modellierung mit Hilfe von Mathematik wichtige Grundprinzipien für die Informatik sind und die Fassung von Sachverhalten in formaler Sprache ein wichtiger Vorläufer für das Programmieren ist. Die dabei angewandte Argumentation erinnert an Theorien des formalen Bildungswerts von Mathematik (vgl. Kap. 1.1 in diesem Band) und mit Blick auf die empirischen Befunde zur Transferierbarkeit von Problemlösefähigkeiten zwischen Domänen sollten indirekte Beiträge zum

Bereich informatisch-technische Grundlagen mittels einer Übertragung von ähnlich gelagerten Fähigkeiten aus der Mathematik möglicherweise nicht überschätzt werden.

Das zu bearbeitende Problem ist aber strenggenommen nicht, ob sich im bestehenden Kanon Bezüge zu zentralen Konzepten der Informatik herstellen lassen (es wäre seltsam, wenn dies nicht so wäre), sondern ob sich aus dem Verständnis der mathematischen Konzepte eine höhere Qualität des informatischen Verstehens ergibt. Dies könnte beispielsweise daraus erwachsen, dass eine Technologie (z. B. RSA-Verschlüsselung) zur White Box wird, weil man mit Hilfe der Mathematik erklären kann, wie sie funktioniert.

Aus mehreren Gründen ist jedoch Skepsis bezüglich des konkreten Potenzials angebracht: Zum einen ist der Abstand zwischen den schulisch vermittelten mathematischen Grundlagen und ihrer informatischen Verwendung häufig beträchtlich. So nutzen etwa RSA-Verschlüsselungen Primzahlen, die Kenntnis des Primzahlbegriffs zusammen mit einem basalen Verschlüsselungsverständnis erschließt jedoch noch nicht die RSA-Verschlüsselung. Ebenso liegen für bestimmte Methoden des maschinellen Lernens erste didaktische Ansätze vor, die an schulmathematische Konzepte anknüpfen. Die Umsetzung erweist sich aber dennoch sehr voraussetzungsreich und muss doch in Teilen für die Lernenden intransparent bleiben (z. B. Mariescu-Istodor & Jormanainen, 2019). Vohns (2021) spricht daher vom „digitalen Trittbrettfahrertum“ (S. 53), wenn der Mathematik generell ein Beitrag zu digitalisierungsbezogenen Zielen aufgrund ihrer Grundlageneigenschaft zugesprochen wird. Außerdem wird bei einer solchen Sicht systematisch unterschätzt, dass sich disziplinäre Sichten auf Konzepte in wesentlichen Punkten unterscheiden können und damit Vorstellungen aus dem Fach Mathematik auch in Konflikt mit informatischen Ideen treten können (beispielhaft für den Algorithmus-Begriff, Mühling et al., 2021; s. a. Knuth, 1974; zu mathematischem Vorwissen als Quelle für Syntaxfehler beim Programmierenlernen, zsf. Qian & Lehman, 2017). Darüber hinaus sei darauf hingewiesen, dass es innerhalb der Informatikdidaktik Ansätze gibt, zentrale Ideen ganz ohne Programmierung und/oder mathematischer Formulierung zu vermitteln (z. B. Computer Science Unplugged, Bell & Vahrenhold, 2018) und es erste empirische Befunde dazu gibt, dass bestimmte informatische Kompetenzen stärker mit sprachlichen als mit mathematischen Fertigkeiten zusammenhängen (Prat et al., 2020).

Es wäre zusammenfassend auszuloten, ob und wie eine bessere Anschlussfähigkeit des Fachs Mathematik zu einem allgemeinbildenden Fach Informatik hergestellt werden kann. Insgesamt gibt es derzeit aber ein begrenztes Potenzial des Faches Mathematik in der gymnasialen Oberstufe hinsichtlich eines (indirekten) Beitrags zum Bereich informatisch-technische Grundlagen. Systematische empirische Erkenntnisse stehen im Moment noch aus. Mit Blick auf die Oberstufe als abschließende Bildungsetappe der allgemeinbildenden Schule sei dabei angemerkt, dass sich mögliche indirekte Beiträge des Fachs Mathematik zu digitalisierungsbezogenen Zielen vermutlich erst dann voll entfalten können, wenn die aufgezeigten Bezugspunkte aus informatischer Sicht aufgegriffen und vertieft werden können, wofür es naturgemäß

in der gymnasialen Oberstufe wenig Zeit und derzeit auch absehbar keine systematischen Angebote gibt.

## 4.2 Mögliche direkte fachspezifische Beiträge des Fachs Mathematik

Für die hier betrachteten möglichen direkten Beiträge des Fachs zu digitalisierungsbezogenen Zielen hinsichtlich des fachspezifischen Bereichs ist der Begriff der digitalen Mathematikwerkzeuge ein zentraler Ausgangspunkt. Er bezeichnet mathematikspezifische Hilfsmittel zur Problemlösung, wozu typischerweise wissenschaftliche Taschenrechner (inklusive grafikfähige Taschenrechner), Computeralgebrasysteme (CAS), Dynamische Geometriesysteme (DGS), Tabellenkalkulationsprogramme (TKP, ggf. auch spezifischere Datenanalyseprogramme) und Systeme, die entsprechende Funktionen kombinieren, gehören (z.B. Roth, 2019). Im Unterricht werden verschiedene Lösungen auf unterschiedlichen Plattformen (z.B. Computer, Tablet, Handheld) genutzt, die in der Regel<sup>11</sup> für die Nutzung in Lehr-/Lernprozessen entwickelt wurden, wobei man korrespondierende Expertensysteme identifizieren kann (z.B. DGS als didaktisierte Form bestimmter Funktionalitäten aus CAD-Systemen). In der Mathematikdidaktik kann es als Konsens angesehen werden, dass diese teils mächtigen Hilfsmittel nur über individuelle Aneignungsprozesse zum Werkzeug in der Hand der Lernenden werden können (Instrumental Genesis, zsf. Rabardel, 2002; vgl. Weigand & Bichler, 2010 für eine Illustration verschiedener Aneignungsniveaus). Dies setzt voraus, dass Lernende über die Schulzeit hinweg mit den Werkzeugen sowie zugehörigen Praktiken vertraut werden und verschiedene Nutzungsweisen erlernen.

Der Einsatz digitaler Mathematikwerkzeuge stellt sich trotz Verankerung in den Bildungsstandards der Sekundarstufe I und II derzeit als sehr unterschiedlich dar. Für CAS gilt aktuell zum Beispiel, dass sie in einigen Ländern in der Oberstufe verpflichtend sind (z.B. Thüringen) und in anderen optional (z.B. Schleswig-Holstein) oder zumindest bei Leistungserhebungen verboten sind (z.B. Baden-Württemberg). Systematische Erhebungen über die tatsächliche Verbreitung digitaler Mathematikwerkzeuge sind rar. In einer nicht repräsentativen Untersuchung im Schuljahr 2017/18 mit 163 Sekundarstufen-Lehrkräften aus verschiedenen Bundesländern gaben 25 % bzw. 50 % der Lehrkräfte an, in den oberen Klassen der Sekundarstufe I DGS bzw. CAS praktisch nicht zu nutzen, während ca. 20 % der Lehrkräfte über eine regelmäßige und durchgängige Nutzung beider Werkzeugtypen im Unterricht berichten (Ostermann et al., 2021). In der ICILS-Untersuchung 2018 wurde die Nutzungshäufigkeit digitaler Medien in der Jahrgangsstufe 8 aus Perspektive der Lehrkräfte erhoben. Dort berichteten ebenfalls ca. 23 %, digitale Medien täglich zu nutzen, während ca. 40 % seltener als wöchentlich Medien einsetzten. Weiterhin gaben bis zu 85 % der Lehrkräfte an, nie Modellierungs- oder Simulationssoftware ein-

11 In Bezug auf Tabellenkalkulationsprogramme werden meist typische Anwendersysteme und selten didaktisierte Versionen davon genutzt.

zusetzen, zu denen die genannten digitalen Mathematikwerkzeuge zählen (Drossel et al., 2019). Diese Daten wurden jedoch nicht differenziert nach unterrichtetem Fach berichtet. Vergleichbare Studien zu Nutzungshäufigkeiten digitaler Mathematikwerkzeuge aus der gymnasialen Oberstufe sind nicht bekannt. Es ist aber davon auszugehen, dass dort, wo bestimmte Werkzeuge für das Abitur zugelassen sind (z. B. CAS), diese den Lernenden auch zur Verfügung stehen (z. B. als eigene Geräte) und durchgängig im Unterricht Verwendung finden, während andere Werkzeuge, so sie denn überhaupt Anwendung finden, nur punktuell verfügbar sein dürften.

Aus der Unterschiedlichkeit von Regelungen bzw. auch der Abwesenheit von Regelungen wird deutlich, dass in Deutschland auch auf praktischer Ebene derzeit kein Konsens über die Rolle digitaler Mathematikwerkzeuge in der gymnasialen Oberstufe herrscht. Für die Frage zum direkten Beitrag der Mathematik zum fachspezifischen Bereich einer Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung sind also zwei Teilfragen zu betrachten: Welche digitalen Mathematikwerkzeuge wären entlang der Trias der Bildungsziele in der Oberstufe möglicherweise zu berücksichtigen (werkzeugorientierte Analyse)? Welche Nutzungsweisen müssten für diese Werkzeuge dann eingeführt werden (nutzungsorientierte Analyse)?

### **Werkzeugorientierte Analyse**

Eine Studie mit Hochschuldozierenden verschiedenster Fachbereiche hat ergeben, dass der sichere und reflektierte Einsatz von Taschenrechnern und Computern zum Studienbeginn vorausgesetzt wird (Neumann et al., 2017, 2021). Mit dem Ziel der *Studierfähigkeit* lässt sich daraus für den Mathematikunterricht ein Desiderat ableiten. Bisher fehlt jedoch eine Ausdifferenzierung, auf welche Werkzeuge und Nutzungsweisen sich diese Kompetenzen beziehen sollen. Darüber hinaus fehlt eine empirische Prüfung des möglichen Beitrags von werkzeugbezogenen Kompetenzen zur Studierfähigkeit.

Aus dem Ziel der *Wissenschaftspropädeutik* ließen sich zwei Folgerungen für den Einsatz digitaler Mathematikwerkzeuge ableiten: Die fortschreitende Digitalisierung in den Anwendungsfächern müsste aufgegriffen werden, etwa indem verstärkt digitale Mathematikwerkzeuge (als didaktisierte Expertenwerkzeuge) zur algebraischen, geometrischen oder statistischen Modellierung herangezogen werden (vgl. Greef-rath & Siller, 2018). Diese Aufgaben könnten aber auch den Anwendungsfächern direkt zugeschrieben werden (z. B. digitale Messwerterfassung und -verarbeitung im Unterricht der Physik, Kurth et al., 2019). Gleichzeitig wäre es im Interesse einer wissenschaftspropädeutischen Ausrichtung der Oberstufe auf die Disziplin Mathematik, exemplarisch auch (ggf. stärker als derzeit, vgl. Kap. 1.2 in diesem Band) in die deduktiv-beweisende Methode einzuführen. Diese Arbeitsweisen sind traditionell werkzeugfrei und benötigen einen gewissen Vorrat an mathematischen Strukturen. Eine Fluidität im Umgang mit mathematischen Strukturen wird dabei im Allgemeinen für mathematisches Problemlösen als wichtig erachtet (zsf. Bruder et al., 2015), sodass Dozierende der mathematischen Studiengänge auch substanzielle händische Fertigkeiten zu Studienbeginn voraussetzen (Neumann et al., 2017). Mittler-

weile liegen allerdings auch erste digitale Systeme vor, die als Alternative zu händischen Termumformungen den Erwerb von algebraischer Fluidität unterstützen sollen (s. Graspable Math, Goldstone et al., 2017). Eine empirische Prüfung, wie viel – frei nach Herget – Termumformung mathematiktreibende Menschen brauchen, steht allerdings (immer noch) aus (zitiert nach Hischer, 1993).

Bei den pointiert formulierten Perspektiven „Anwendungen mit Computereinsatz“ und „echte Mathematik ohne Computereinsatz“ erscheint es nicht sachadäquat, von einer Dichotomie auszugehen. Dennoch kann es unter den schulischen Randbedingungen, wie etwa begrenzter Unterrichtszeit, durchaus zu Zielkonflikten zwischen der Einführung und sophistizierten Nutzung digitaler Mathematikwerkzeuge zur Lösung echter (oder zumindest anschlussfähiger) Anwendungsprobleme und dem Aufbau sowie der Einübung eines genügend großen Vorrats mathematischer Begriffe und Operationen kommen (s. a. Bruder et al., 2015). Dieser Konflikt besteht jedoch bereits mit Blick auf übergeordnete Ziele, insbesondere innerhalb des Ziels der Wissenschaftspropädeutik, und kann auch für wechselseitige Einsichten produktiv genutzt werden, wenn Mathematik als Anwendungsdisziplin und wissenschaftliche Disziplin im Blick bleiben soll (s. a. Dehnbestel, 1987).

Gemäß dem Ziel einer *vertieften Allgemeinbildung* müsste ein digitales Mathematikwerkzeug Teil des Unterrichts sein, wenn es außerhalb der Schule in einer Vielzahl von Situationen relevant ist (z. B. deutlich bei Tabellenkalkulation, wissenschaftlichen Taschenrechnern) oder eine besondere Errungenschaft der Mathematik (als eigene Welt) darstellt. Letzteres lässt sich für CAS als moderne algebraische und DGS als moderne geometrische Materialisierung von Mathematik (Fischer, 2012; Peschek, 1999; Peschek & Schneider, 2002) verargumentieren. Es lassen sich zudem, wenn sie als didaktisierte Expertenwerkzeuge verstanden werden, auch lebensweltliche Bezüge eingeschränkter Reichweite herstellen (z. B. für DGS: CAD-Anwendungen im technischen Bereich, Rapid Prototyping mit 3D Druck, s. a. Lindmeier & Rach, 2015). Anders verhält es sich mit dem grafikfähigen Taschenrechner, der ausschließlich schulische Verwendung findet und somit unter dieser allgemeinen Perspektive nicht legitimierbar ist. Wegen der fehlenden Nutzung in der Hochschule und den Bezugsdisziplinen bleibt die Nutzung dieser Geräte auch aus Perspektive der anderen Dimensionen der Trias hinterfragbar.

Zusammenfassend lässt sich für den Einsatz (und auch deren Vermeidung) aller genannten digitalen Mathematikwerkzeuge aus verschiedenen Gründen Potenzial für die Trias der übergreifenden Zielsetzungen der gymnasialen Oberstufe herausarbeiten. Insbesondere erscheint die aktuelle Instrumentierung der gymnasialen Oberstufe im Fach Mathematik (überwiegend Einsatz CAS/wissenschaftlicher o. grafischer Taschenrechner, kaum Einsatz DGS, unklare Situation für Tabellenkalkulation) also nicht als Notwendigkeit, sondern ist eher dem bestehenden Oberstufen-Kanon geschuldet.

### Nutzungsorientierte Analyse

Eine werkzeugorientierte Diskussion vernachlässigt, dass die Einführung eines Werkzeugs, inklusive der Vermittlung von grundlegenden Bedienkompetenzen, wie oben argumentiert, per se nur ein bescheidener Beitrag zu einer Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung wäre. Diese würde sich erst dann entfalten, wenn Lernende die digitalen Mathematikwerkzeuge auf verschiedene Arten zielführend nutzen, digitalisierungsbezogene kritisch-reflexive Kompetenzen entwickeln und zugehörige motivationale und personale Aspekte der Kompetenzen erwerben. Im Folgenden werden exemplarisch die beiden Nutzungsweisen *Lernen* und *Handeln, Problemlösen und Produzieren* betrachtet, da diese die in der Mathematikdidaktik umfangreicher diskutierten Nutzungsweisen sind (vgl. aber Fischer, 2012; Peschek, 1999; Peschek & Schneider, 2002 für Teilaspekte der Kommunikation und Kollaboration).

Die Nutzungsweise *Lernen*, also der Einsatz der Werkzeuge zum Lernen von Mathematik, ist ein breit bearbeitetes Thema und derzeit die dominantere Perspektive (s. a. Vohns, 2021; GDM, 2017). Die Abitur-Bildungsstandards Mathematik stellen entsprechend zur Nutzung digitaler Werkzeuge programmatisch fest, dass „die Entwicklung mathematischer Kompetenzen [...] durch den sinnvollen Einsatz digitaler Mathematikwerkzeuge unterstützt [wird]“ (KMK, 2012a, S. 12). Es gibt zahlreiche Vorschläge, die dieses Potenzial digitaler Mathematikwerkzeuge unterschiedlich aufgreifen (zsf. Roth, 2019; Schmidt-Thieme & Weigand, 2015). Hier ist nun zu eruieren, inwiefern solche Vorschläge – über die Unterstützung mathematischer Lernprozesse hinaus – einen Beitrag zur Kompetenzentwicklung für das Lernen in einer Kultur der Digitalität (s. Abschnitt 3.3) leisten könnten.

Ein begrenzter Beitrag wird erkennbar, wenn digitale Mathematikwerkzeuge überwiegend als reine *Lernwerkzeuge*, etwa in Form von digitalen Arbeitsblättern genutzt werden. Diese bestehen – in Analogie zu traditionellen Arbeitsblättern – typischerweise aus mehrschrittigen Arbeitsaufträgen und können auch in größeren Lernumgebungen (vgl. vorstrukturiertes Arbeitsheft) weiter zusammengefasst sein. Für den Inhaltsbereich der Analysis skizziert etwa Elschenbroich (2015) solche Nutzungsarten. Charakteristisch ist, dass eine hohe Vorstrukturierung für die Arbeitsprozesse besteht, die gleichzeitig gewisse Aspekte der Individualisierung (z. B. in Bezug auf die zeitliche Strukturierung) erlauben (Roth, 2019). Um hier keine Missverständnisse aufkommen zu lassen: Diese beschriebenen lernbezogenen instrumentellen Nutzungsweisen der punktuellen Integration von digitalen Mathematikwerkzeugen, oft in Form von sehr spezifischen Applets, stark vorstrukturierten digitalen Arbeitsblättern oder digitalen Anschauungsmaterialien mögen für das gerade bearbeitete mathematische Lernziel effektiv sein. Viele der Konzepte sind didaktisch auch sehr kunstvoll gestaltet und unter Nutzung von pädagogisch-psychologischen Erkenntnissen zum Lernen mit digitalen Medien ausgearbeitet. Es besteht aber Grund zur Annahme, dass Lernende solchen Nutzungsweisen von Mathematikwerkzeugen vornehmlich im schulischen Kontext begegnen. Ob daraus überdauernde Kompetenzen für das Lernen in einer Kultur der Digitalität entwickelt werden können, wäre jeweils zu prüfen. Der Ertrag eines sehr stark vorstrukturierten, reinen

*Lernwerkzeugeinsatzes* für informellere, ggf. problembasierte Lernanforderungen, wo das Werkzeug möglicherweise nicht vorselektiert ist und Lernende beim „leeren Bildschirm“ starten, erscheint eher fraglich. Beispielsweise könnten sehr starke Vorstrukturierungen sogar ungünstigerweise die Ausbildung von Selbstregulationsfähigkeiten erschweren (Scheiter, 2021).

Ein höheres Potenzial in dieser Hinsicht bieten prinzipiell Nutzungsweisen, in denen digitale Mathematikwerkzeuge in einem Lernprozess als Werkzeuge im engeren Wortsinn, also zum Problemlösen, Handeln oder Produzieren, genutzt werden. Hier verschwimmen dann die Nutzungsarten *Lernen* und *Handeln*, *Problemlösen* und *Produzieren*, weswegen an dieser Stelle gleichzeitig auf die zweite Nutzungsart mit eingegangen wird. Digitale Mathematikwerkzeuge werden dabei etwa in komplexeren Lernprozessen genutzt, indem bestimmte Teilarbeitsschritte an digitale Mathematikwerkzeuge ausgelagert werden, was idealerweise eine zeitliche und kognitive Entlastung im Problemlöseprozess bewirkt und somit komplexere Lernhandlungen ermöglicht. So können zum einen experimentelle Phasen bei der Entwicklung von Argumentationen, dem Verstehen einer Situation oder der Entwicklung von Lösungen bei Modellierungsproblemen digital gestützt werden. Zum anderen können Problemlösungen direkt im Werkzeug produziert werden. Ein Beispiel bietet die Bearbeitung des Straßenverbindungsproblems im Analysisunterricht unter Nutzung digitaler Werkzeuge (Weigand & Bichler, 2010). Andere Beispiele sind die Entwicklung geeigneter Datendarstellungen oder die explorative Untersuchung von Verteilungen. Hier besteht der Vorteil ebenfalls darin, dass explorative Vorgehensweisen genutzt werden können, Zwischenlösungen schneller produziert und auch leichter wieder verworfen werden können.

Feinkörnig kann unterschieden werden, ob die genutzte Funktionalität eines digitalen Mathematikwerkzeugs für die Lernenden eine White oder Black Box darstellt. Im ersten Fall kennen die Lernenden das implementierte Verfahren. Dies könnte umfassen, dass die Lernenden auch ohne Werkzeug, wenn auch vielleicht nur in einfachen Situationen, handlungsfähig sind. Es wird angenommen, dass sich daraus ein Beitrag zur Entwicklung digitalisierungsbezogener kritischer-reflexiver Kompetenzen ergeben kann. Im zweiten Fall, der Black Boxes, haben die Lernenden das implementierte Verfahren nicht (oder nur phänomenologisch) kennen gelernt. Beispielsweise können Regressionsgeraden bestimmt werden, ohne dass ein Verständnis jenseits einer anschaulichen Plausibilisierung als Ausgleichsgerade aufgebaut wurde (s. a. Peschek, 1999). Zufallszahlen können simuliert werden, ohne dass Lernenden transparent ist, wie die Zufallszahlen bestimmt werden. Fischer (2013) argumentiert, dass gerade von der bewussten Nutzung von Black Boxes ein charakteristischer Beitrag zum Verständnis von arbeitsteiligem Vorgehen ausgehen kann, was wiederum Ansatzpunkt für eine kritische-reflexive Bearbeitung von digitalisierungsbezogenen Themen ermöglicht (Fischer, 2013 vgl. auch Abschnitt 3.3 zu 21st Century Skills). Insofern können sowohl Black- als auch White-Box-Nutzungsweisen Anknüpfungspunkte zur Entwicklung digitalisierungsbezogener kritisch-reflexiver Kompetenzen zum souveränen Umgang mit digitalen Werkzeugen bieten.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass werkzeuggestütztes Problemlösen vom „leeren Bildschirm“ aus – wie problembasiertes Lernen generell – herausfordernd ist. In der gymnasialen Oberstufe sind prinzipiell aufgrund der bereits besser ausgebildeten Selbstregulationskompetenzen der älteren Lernenden die Voraussetzungen für problembasiertes Lernen günstiger. Gleichzeitig bleibt die Schwierigkeit, dass benötigte Nutzungsweisen bis zur Oberstufe nicht systematisch entwickelt werden. Wenn digitale Mathematikwerkzeuge und deren Nutzungsweisen nicht eingeführt sind, dann ist problembasiertes Lernen selbst in der Oberstufe nicht möglich. Neue Entwicklungen machen zwar digitale Mathematikwerkzeuge zunehmend einfacher zu bedienen, aber für mathematisches Problemlösen mit diesen Werkzeugen bleibt es notwendig, laborierte Nutzungsweisen zu erlernen. Neue digitale Mathematikwerkzeuge erst in der Oberstufe einzuführen und direkt in problembasierten Lernumgebungen zu nutzen, erscheint auf Basis der Forschung zu digitalen Mathematikwerkzeugen aus den letzten Jahrzehnten als illusorisch.

Zusammenfassend machen es digitale Mathematikwerkzeuge also theoretisch möglich, bereits in der Schule digitalisierungsbezogene Kompetenzen zu erwerben, was hier vor allem in Bezug auf die Nutzungsweisen Handeln, Problemlösen und Produzieren oder Lernen aufgezeigt wurde. Es kann zudem angenommen werden, dass dabei – mit geeigneter Unterstützung – auch Selbstregulationskompetenzen geübt und digitalisierungsbezogene Selbstkonzepte entwickelt werden können, etwa indem man sich als Person erfährt, die digitale Werkzeuge zielführend nutzen kann. Aus Platzgründen konnte nur angedeutet werden, dass dabei auch digitalisierungsbezogene kritisch-reflexive Kompetenzen, etwa durch die Reflexion der Transparenz von Werkzeugen, entwickelt werden können.

Die in den letzten Absätzen gezeichnete Vorstellung von digitalen Werkzeugen als „Katalysatoren“, durch welche „herkömmliche“ Lerngelegenheiten im Mathematikunterricht generell durch „bessere“ (u. a. offenere, problemhaltigere, sinnstiftendere) ersetzt werden und damit Mathematikunterricht „besser“ übergreifende Bildungsziele erfüllen kann, wurde bereits mit dem Siegeszug des Taschenrechners entwickelt und scheint bis heute immer wieder als Leitvorstellung zum digital-gestützten Mathematikunterricht durch. Ganz explizit ist das etwa auch in der Expertise zum Mathematikunterricht in der gymnasialen Oberstufe ausgewiesen, wenn auch sofort einschränkend relativiert (Borneleit et al., 2001).

Gleichzeitig werden gerade die Nutzungsweisen kaum in der Praxis umgesetzt, die im Kern dieser Leitvorstellungen liegen. Unter Modellversuchsbedingungen wurden typische Hürden wie beispielsweise fehlende Ausstattung, ungelöste Fragen der Lösungsprozessdokumentation, einschränkende Abituranforderungen, fehlende Qualifikation der Lehrkräfte oder vorherrschende nicht digitale Praktiken dokumentiert. Obwohl auch verschiedene Unterstützungsmechanismen wie durchgängiger Werkzeugeinsatz, genügende Ausstattung oder schulische Supportstrukturen identifiziert werden konnten, hat sich in manchen Bereichen der Mathematikdidaktik trotz hohem Idealismus mittlerweile eine deutliche Ernüchterung breitgemacht (Weigand, 2012). Roth (2019) sieht sogar in dem idealtypischen unstrukturierten Problemlö-

sen eine nicht mehr zeitgemäße Form des Einsatzes digitaler Mathematikwerkzeuge. Sollte sich dies bestätigen, so wäre also – trotz vielfältig herausgearbeitetem Potenzial – von einem digital gestützten Mathematikunterricht trotzdem nur ein begrenzter direkter Beitrag zu einer möglichen Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung zu erwarten. Digitale Werkzeuge würden dann in der Schule zwar eingeführt, aber eben vornehmlich in enggeführten und vorstrukturierten Kontexten genutzt, so dass nur ein begrenztes Repertoire der anvisierten Nutzungsweisen erworben werden könnte.

## 5 Fazit

Der Mathematikunterricht der gymnasialen Oberstufe weist derzeit bei differenzierter Betrachtung einerseits gewisse Potenziale auf, zu einer möglichen Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung beizutragen, die als Integration dreier Diskurslinien hergeleitet wurde. Es wurde aber auch herausgearbeitet, dass der Beitrag in manchen Punkten derzeit möglicherweise überschätzt wird bzw. erst intentional herausgearbeitet werden müsste. Dabei ist vorneweg einschränkend zu sagen, dass in diesem Kapitel nur mögliche indirekte Beiträge zum Bereich informatisch-technischer Grundlagen und direkte Beiträge mit Bezug zu fachspezifischen Werkzeugen vertieft betrachtet wurden. Nicht betrachtet wurde beispielsweise, inwiefern Mathematikunterricht in der gymnasialen Oberstufe einen Beitrag zum fachübergreifenden Kompetenzbereich leisten kann.

In der werkzeugorientierten Analyse wurde deutlich, dass die Einführung verschiedener digitaler Mathematikwerkzeuge den drei Zieldimensionen der Oberstufe zuträglich ist, wenn auch mit unterschiedlich gelagerten Akzentuierungen. Es ist unstrittig, dass die Einführung in fachspezifische Technologien eine Aufgabe des Mathematikunterrichts ist, wobei die angeführten Argumente größtenteils nicht oberstufenspezifisch sind und somit die Einführung auch als Aufgabe der Sekundarstufe I verstanden werden kann. Bei der nutzungsorientierten Analyse wurde deutlich, dass es stark auf die Art des Einsatzes und die angezielten Nutzungsweisen ankommt, ob digitale Mathematikwerkzeuge einen breiteren Beitrag zu einer Zieldimension mit Bezug zur Digitalisierung leisten können. Dazu ist nochmals anzumerken, dass in diesem Beitrag ein umfassendes Bild einer möglichen Zieldimension als Synthese aus verschiedenen Diskurslinien gezeichnet wurde. Allerdings lassen sich diese Zielsetzungen vermutlich weitgehend der Trias der Oberstufenziele unterordnen bzw. könnten in ihr aufgehen.

Insofern könnte eine mögliche Neuorientierung des Oberstufen-Mathematikunterrichts davon befreit werden, besondere Erwartungen über die Dimensionen der Trias hinaus in Bezug auf einen Beitrag zu Zielen der Digitalisierung zu leisten. Darin liegt aber auch eine große Chance, denn eine Neuorientierung könnte sich darauf konzentrieren, welche Interpretationen der Oberstufentrias aktuell konsensfähig sind und wie demzufolge Mathematikunterricht inhaltlich und nachfolgend auch in Be-

zug auf die Arbeitsweisen ausgestaltet werden sollte. Digitale Arbeitsweisen werden selbstverständlich dazugehören und an vielen Stellen eigene Beiträge leisten, aber würden dann nicht Ausgangspunkt dieser Überlegungen sein.

## Literatur

- Altenrath, M., Helbig, C. & Hofhues, S. (2020). Deutungsheiten: Digitalisierung und Bildung in Programmatiken und Förderrichtlinien Deutschlands und der EU. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 565–594. <https://doi.org/10.21240/mpaed/jb17/2020.05.22.X>
- Baacke, D. (1999). Medienkompetenz als zentrales Operationsfeld von Projekten. In D. Baacke, S. Kornblum, J. Lauffer, L. Mikos, & G. A. Thiele (Hrsg.), *Handbuch Medien: Medienkompetenz – Modelle und Projekte* (S. 31–35). Bundeszentrale für politische Bildung.
- Barberi, A. (2017). Von Kompetenz, Medien und Medienkompetenz. Dieter Baackes interdisziplinäre Diskursbegründung der Medienpädagogik als Subdisziplin einer sozialwissenschaftlich orientierten Kommunikationswissenschaft. In C. Trültzsch-Wijnen (Hrsg.), *Medienpädagogik* (S. 143–162). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783845279718-143>
- Bell, T. & Vahrenhold, J. (2018). CS unplugged—How is it used, and does it work? In H.-J. Böckenhauer, D. Komm & W. Unger (Hrsg.), *Adventures between lower bounds and higher altitudes* (S. 497–521). Springer.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M. & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin, B. McGaw & E. Care (Hrsg.), *Assessment and teaching of 21st century skills* (S. 17–66). Springer.
- BLK (=Bund-Länder-Kommission). (1987). *Gesamtkonzept für die informationstechnische Bildung*.
- Blömeke, S. (2001). Analyse von Konzepten zum Erwerb medienpädagogischer Kompetenz. Folgerungen aus den Ansätzen von Dieter Baacke und Gerhard Tulodziecki. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 27–47. <https://doi.org/10.21240/mpaed/retro/2017.06.03.X>
- Borneleit, P., Henn, H.-W., Danckwerts, R. & Weigand, H.-G. (2001). Expertise zum Mathematikunterricht in der gymnasialen Oberstufe: Verkürzte Fassung. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 22(1), 73–90. <https://doi.org/10.1007/BF03339317>
- Borovcnik, M. (1988). Korrelation und Regression—Ein inhaltlicher Zugang zu den grundlegenden mathematischen Konzepten. *Stochastik in der Schule*, 8(1), 5–32.
- Braun, T., Büsch, A., Dander, V., Eder, S., Förschler, A., Fuchs, M., Gapski, H., Geisler, M., Hartong, S., Hug, T., Kübler, H.-D., Moser, H., Niesyto, H., Pohlmann, H., Richter, C., Rummler, K. & Sieben, G. (2021). Positionspapier zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie «Bildung in der digitalen Welt». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 1–7. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2021.11.29.X>
- Brinda, T. (2016). *Stellungnahme zum KMK-Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“*. Gesellschaft für Informatik. <https://fb-iad.gi.de/fileadmin/FB/IAD/Dokumente/gi-fbiad-stellungnahme-kmk-strategie-digitale-bildung.pdf>
- Bruder, R., Feldt-Caesar, N., Pallack, A., Pinkernell, G. & Wynands, A. (2015). Mathematisches Grundwissen und Grundkönnen in der Sekundarstufe II. In W. Blum, S. Vogel, C. Druke-Noe & A. Roppelt (Hrsg.), *Bildungsstandards aktuell: Mathematik in der Sekundarstufe II* (S. 108–124). Bildungshaus Schulbuchverlage.
- Dehnbostel, P. (1987). Allgemeinbildender oder berufsbildender Mathematikunterricht in der Sekundarstufe II? *Die deutsche Schule*, 79(2), 220–232. <https://doi.org/10.25656/01:428>

- Diethelm, I. & Glücks, S. (2019). Analyse von Curricula auf Abdeckung der Kompetenzen zur Bildung in der digitalen Welt. In A. Pasternak (Hrsg.), *Informatik für alle* (S. 69–78). GI.
- Diethelm, I. & Zumbrägel, S. (2010). Wie funktioniert eigentlich das Internet? Empirische Untersuchung von Schülervorstellungen. In I. Diethelm, C. Dörge, C. Hildebrandt & C. Schulte (Hrsg.), *Didaktik der Informatik. Möglichkeiten empirischer Forschungsmethoden und Perspektiven der Fachdidaktik* (S. 33–44). GI.
- Drossel, K., Eickelmann, B., Schaumburg, H. & Labusch, A. (2019). Nutzung digitaler Medien und Prädiktoren aus der Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 205–240). Waxmann.
- 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.
- Elschenbroich, H.-J. (2015). Digitale Werkzeuge im Analysisunterricht. In W. Blum, S. Vogel, C. Drüke-Noe & A. Roppelt (Hrsg.), *Bildungsstandards aktuell: Mathematik in der Sekundarstufe II*. Bildungshaus Schulbuchverlage.
- Engel, J. & Sedlmeier, P. (2010). Regression und Korrelation: Alles klar, oder voller Tücken? *Stochastik in der Schule*, 30, 13–20.
- Fischer, R. (2012). Fächerorientierte Allgemeinbildung: Entscheidungskompetenz und Kommunikationsfähigkeit mit ExpertInnen. In R. Fischer, U. Greiner & H. Bastel (Hrsg.), *Domänen fächerorientierter Allgemeinbildung* (S. 9–17). Trauner.
- Fischer, R. (2013). Entscheidungs-Bildung und Mathematik. In M. Rathgeb, M. Helmerich, R. Krömer, K. Lengnink & G. Nickel, *Mathematik im Prozess* (S. 335–345). Springer.
- GDM (=Gesellschaft für Didaktik der Mathematik) (2017). *Die Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft: Eine Chance für den fachdidaktisch reflektierten Einsatz digitaler Werkzeuge im Mathematikunterricht. Positionspapier der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*. [https://madipedia.de/images/6/6c/BMBF-KMK-Bildungsoffensive\\_PositionspapierGDM.pdf](https://madipedia.de/images/6/6c/BMBF-KMK-Bildungsoffensive_PositionspapierGDM.pdf)
- GFD (=Gesellschaft für Fachdidaktik) (2018). *Fachliche Bildung in der digitalen Welt. Positionspapier der Gesellschaft für Fachdidaktik*. <https://www.fachdidaktik.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/07/GFD-Positionspapier-Fachliche-Bildung-in-der-digitalen-Welt-2018-FINAL-HP-Version.pdf>
- GI (=Gesellschaft für Informatik) (2016). *Dagstuhl-Erklärung: Bildung in der digitalen vernetzten Welt*. Gesellschaft für Informatik. [https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung\\_2016-03-23.pdf](https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung_2016-03-23.pdf)
- Goldstone, R. L., Marghetis, T., Weitnauer, E., Ottmar, E. R. & Landy, D. (2017). Adapting perception, action, and technology for mathematical reasoning. *Current Directions in Psychological Science*, 26(5), 434–441.
- Greerath, G. & Siller, H.-S. (Hrsg.). (2018). *Digitale Werkzeuge, Simulationen und mathematisches Modellieren: Didaktische Hintergründe und Erfahrungen aus der Praxis*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21940-6>
- Heintz, B. (1994). Die Gesellschaft in der Maschine-Überlegungen zum Verhältnis von Informatik und Soziologie. In H.-J. Kreowski & T. Risse (Hrsg.), *Realität und Utopien der Informatik [ausgewählte Beiträge der 10. Jahrestagung des Forums Informatikerinnen und Informatiker für Frieden und gesellschaftliche Verantwortung e.V.]* (S. 12–31).
- Herzig, B. (2021). Institutionen der Medienpädagogik: Schule und Medien. In U. Sander, F. von Gross & K.-U. Hugger (Hrsg.), *Handbuch Medienpädagogik* (S. 1–11). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25090-4\\_95-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25090-4_95-1)

- Hischer, H. (Hrsg.). (1993). *Wieviel Termumformung braucht der Mensch? Fragen zu Zielen und Inhalten eines künftigen Mathematikunterrichts angesichts der Verfügbarkeit informatischer Methoden*. Franzbecker.
- Hischer, H. (2016). *Mathematik – Medien – Bildung: Medialitätsbewusstsein als Bildungsziel: Theorie und Beispiele*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-14167-7>
- Hugger, K.-U. (2021). Medienkompetenz. In U. Sander, F. von Gross & K.-U. Hugger (Hrsg.), *Handbuch Medienpädagogik* (S. 1–15). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25090-4\\_9-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25090-4_9-1)
- Jörissen, B. (2011). «Medienbildung» – Begriffsverständnisse und Reichweiten. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 20, 211–235. <https://doi.org/10.21240/mpaed/20/2011.09.20.X>
- Jörissen, B. & Marotzki, W. (2009). *Medienbildung – eine Einführung: Theorie-Methoden-Analysen*. Klinkhardt (utb).
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (4. Aufl.). Oldenbourg.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E. & Vollmer, H. J. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. BMBF.
- KMK (=Kultusministerkonferenz) (1972). *Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe und der Abiturprüfung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.07.1972 i. D. F. vom 18.02.2021)*.
- KMK (2012a). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.10.2012)*.
- KMK (2012b). *Medienbildung in der Schule (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012)*.
- KMK (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“: Herausforderung für Educational Governance, Schulentwicklung und schulisches Qualitätsmanagement*. <https://doi.org/10.5771/9783828869615>
- KMK (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Die ergänzende Empfehlung zur Strategie „Bildung in der digitalen Welt“*.
- Knuth, D. E. (1974). Computer science and its relation to mathematics. *The American Mathematical Monthly*, 81(4), 323–343.
- Krauthausen, G. (1993). Kopfrechnen, halbschriftliches Rechnen, schriftliche Normalverfahren, Taschenrechner: Für eine Neubestimmung des Stellenwertes der vier Rechenmethoden. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 14(3), 189–219.
- Kurth, C., Walpert, D. & Wodzinski, R. (2019). Digitale Messwerterfassung im Kontext digitaler Bildung. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1.
- Lindmeier, A. & Mühling, A. (2020). Keeping secrets: K-12 students' understanding of cryptography. In T. Brinda & A. Armoni (Hrsg.), *Proceedings of the 15th Workshop on Primary and Secondary Computing Education* (S. 1–10). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3421590.3421630>
- Lindmeier, A. & Rach, S. (2015). 3D-Druck: Hands & minds on! Von der räumlichen Konstruktion zum gedruckten Modell. *Mathematik lehren*, (190), 19–21.
- LKM (=Länderkonferenz MedienBildung) (2015). *Kompetenzorientiertes Konzept für die schulische Medienbildung*. [https://lkm.lernnetz.de/files/Dateien\\_lkm/Dokumente/LKM-Positionspapier\\_2015.pdf](https://lkm.lernnetz.de/files/Dateien_lkm/Dokumente/LKM-Positionspapier_2015.pdf)
- Mandl, H., Hense, J. & Kruppa, K. (2003). *Abschlussbericht der wissenschaftlichen Programmbegeleitung und zentralen Evaluation des BLK-Programms SEMIK*.
- Mariescu-Istodor, R. & Jormanainen, I. (2019). Machine learning for high school students. In P. Inhantola & N. Falkner (Hrsg.), *Proceedings of the 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (S. 1–9). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3364510.3364520>

- Mühling, A., Ghomi, M. & Lindmeier, A. (2021). Welche Kompetenzen benötigen Lehrkräfte für digitale Grundbildung im Mathematikunterricht? Eine Illustration am Beispiel der Idee des „Algorithmus“. In K. Hein, K. Heil, S. Ruwisch & S. Prediger (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2021* (S. 207–210). WTM.
- Neubrand, M. (2021). Bildungstheoretische Grundlagen des Mathematikunterrichts. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker & B. Schmidt-Thieme, *Handbuch der Mathematikdidaktik*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8_3)
- Neumann, I., Pigge, C. & Heinze, A. (2017). *Welche mathematischen Lernvoraussetzungen erwarten Hochschullehrende für ein MINT-Studium. Eine Delphi-Studie*. IPN.
- Neumann, I., Rohenroth, D. & Heinze, A. (2021). *Studieren ohne Mathe? Welche mathematischen Lernvoraussetzungen erwarten Hochschullehrende für Studienfächer außerhalb des MINT-Bereichs?* IPN.
- Oldenburg, R. (2020). Mathematische Bildung für das digitale Zeitalter. In G. Pinkernell & F. Schacht, *Digitale Kompetenzen und Curriculare Konsequenzen. Tagungsband der Herbsttagung 2019 des AK Mathematikunterricht und digitale Werkzeuge der GDM* (S. 1–21). Franzbecker.
- Ostermann, A., Lindmeier, A., Härtig, H., Kampschulte, L., Ropohl, M. & Schwanewedel, J. (2021). Mathematikspezifische Medien nutzen. Was macht den Unterschied – Lehrkraft, Schulkultur oder Technik? *Die Deutsche Schule*, 113(2), 199–217. <https://doi.org/10.31244/dd.2021.02.07>
- Pallack, A. (2018). *Digitale Medien im Mathematikunterricht der Sekundarstufen I + II*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47301-6>
- Peschek, W. (1999). Mathematische Bildung meint auch Verzicht auf Wissen. In G. Kadunz, G. Ossimitz, W. Peschek, E. Schneider & B. Winkelmann (Hrsg.), *Mathematische Bildung und Neue Technologien* (S. 263–270). Teubner.
- Peschek, W. & Schneider, E. (2002). CAS in general mathematics education. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(5), 189–195. <https://doi.org/10.1007/BF02655821>
- Prat, C. S., Madhyastha, T. M., Mottarella, M. J. & Kuo, C.-H. (2020). Relating Natural Language Aptitude to Individual Differences in Learning Programming Languages. *Scientific Reports*, 10(1), Artikel 3817. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60661-8>
- Qian, Y. & Lehman, J. (2017). Students’ misconceptions and other difficulties in introductory programming: A literature review. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 18(1), 1–24.
- Rabardel, P. (2002). *People and technology: A cognitive approach to contemporary instruments* (hal-01020705). [https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/1020705/filename/people\\_and\\_technology.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/1020705/filename/people_and_technology.pdf)
- Roth, J. (2019). Digitale Werkzeuge im Mathematikunterricht–Konzepte, empirische Ergebnisse und Desiderate. In A. Büchter, M. Glade, R. Herold-Blasius, M. Klinger, F. Schacht & P. Scherer (Hrsg.), *Vielfältige Zugänge zum Mathematikunterricht* (S. 233–248). Springer.
- Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(5), 1039–1060. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y>
- Schmidt-Thieme, B. & Weigand, H.-G. (2015). Medien. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker & B. Schmidt-Thieme, *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 461–490). Springer.
- Schulte, C. & Scheel, O., (2001). Aufgabenbereiche der Medienbildung im Informatikunterricht. In R. Keil-Slawik & J. Magenheimer (Hrsg.), *Informatikunterricht und Medienbildung, INFOS 2001, 9. GI-Fachtagung Informatik und Schule* (S. 157–171). Gesellschaft für Informatik.
- Senkbeil, M., Eickelmann, B., Vahrenhold, J., Goldhammer, F., Gerick, J. & Labusch, A. (2019). Das Konstrukt der computer-und informationsbezogenen Kompetenzen und das Konstrukt der Kompetenzen im Bereich ‚Computational Thinking‘ in ICILS 2018. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senk-

- beil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 79–111). Waxmann.
- Stalder, F. (2016). *Kultur der Digitalität*. Suhrkamp.
- SWK (=Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz) (2021). *Stellungnahme zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“*.
- Tenorth, H.-E. (2003). Bildungsziele, Bildungsstandards und Kompetenzmodelle – Kritik und Begründungsversuche. *Recht der Jugend und des Bildungswesens*, 51(2), 156–164.
- Trilling, B. & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Tulodziecki, G. (1998). Entwicklung von Medienkompetenz als Erziehungs- und Bildungsaufgabe. *Pädagogische Rundschau*, 52(6), 693–709.
- Tulodziecki, G. (2016). Konkurrenz oder Kooperation? Zur Entwicklung des Verhältnisses von Medienbildung und informatischer Bildung. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 25, 7–25.
- van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M. & de Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 72, 577–588. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>
- 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>
- Vohns, A. (2021). Das Digitale als Bildungsherausforderung für den Mathematikunterricht? (Un-)Zeitgemäße Betrachtungen. *Mitteilungen der GDM*, 110, 47–55.
- Vuorikari, R., Kluzer, S. & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens – With new examples of knowledge, skills and attitudes*. Publications Office of the European Union.
- Weidenmann, B. & Krapp, A. (1989). Lernen mit dem Computer, Lernen für den Computer. Einleitung der Herausgeber zum Themenheft. *Zeitschrift für Pädagogik*, 35, 621–636.
- Weigand, H.-G. (2012). Fünf Thesen zum Einsatz digitaler Technologien im zukünftigen Mathematikunterricht. In W. Blum, R. Borromeo Ferri & K. Maaß (Hrsg.), *Mathematikunterricht im Kontext von Realität, Kultur und Lehrerprofessionalität* (S. 315–324). Vieweg+Teubner. [https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2389-2\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2389-2_32)
- Weigand, H.-G. & Bichler, E. (2010). Towards a competence model for the use of symbolic calculators in mathematics lessons: The case of functions. *ZDM*, 42(7), 697–713.
- Wiater, W. (2018). Digitale Bildung – ein kritischer Zwischenruf. *Bildung und Erziehung*, 71(1), 110–117. <https://doi.org/10.13109/buer.2018.71.1.110>
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, M. Zeidner & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 13–39). Elsevier.

Anke Lindmeier, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fakultät für Mathematik und Informatik, Ernst-Abbe-Platz 2, 07743 Jena

 <https://orcid.org/0000-0002-2819-4375>

anke.lindmeier@uni-jena.de