

Fernunterricht während des ersten Lockdowns – eine explorative Studie zur kognitiven Aktivierung durch Aufgaben im Mathematikunterricht

BRUNO SCHEJA, KÖLN & BENJAMIN ROTT, KÖLN

Zusammenfassung: Die Corona-Pandemie stellte die Bildungsbeteiligten vor Herausforderungen bisher unbekanntem Ausmaßes. Dies zeigt sich z. B. an der Notwendigkeit der Durchführung eines zum Teil mehrere Monate andauernden Fernunterrichts – zunächst annähernd ohne Nutzung unterstützender digitaler Lehr-Lehr-Formate. Dabei bleibt bisher unklar, wie kognitiv gehaltvoll Lehrkräfte unter solchen Bedingungen ihren Fachunterricht gestaltet haben. Die vorliegende explorative Studie geht auf Grundlage zentraler Kriterien zur Beurteilung der Qualität des Fernunterrichts diesem Fragekomplex für das Fach Mathematik nach: Es wird untersucht, welche kognitiven Merkmale und Variationsbreite die während des Fernunterrichts eingesetzten Aufgaben (N=457) von acht Mathematiklehrer:innen der Sekundarstufe I aufweisen. Die Befunde weisen in die Richtung, dass der Unterricht zum Teil als sehr aktivierungssarm zu betrachten ist. Zu diesem Ergebnis trägt insbesondere bei, dass die Spannweite der im Lösungsprozess eingeforderten Tätigkeiten eher als schmal bewertet und innerhalb dieser Bandbreite jeweils geringe kognitive Ansprüche verankert werden. Unter der Perspektive einer zeitlichen Entwicklung zeigt sich dieses Profil zudem eher stabil und weist allenfalls punktuelle Entwicklungen auf. Diese Befunde werden in dieser Studie nicht in Relation zu den Ergebnissen aus dem Präsenzunterricht derselben Lehrkräfte gesetzt.

Abstract: The Corona pandemic presented those involved in education with unprecedented challenges. This can be seen, for example, in the need to conduct distance learning, which in some cases lasted several months and was initially conducted almost without the use of supporting digital teaching formats. So far, it remains unclear how cognitively rich the teachers made their subject lessons under such conditions. The presented exploratory study, based on questions regarding central criteria for assessing the quality of distance learning, investigates this complex of questions for the subject of mathematics by examining the cognitive characteristics and range of variation of the tasks used during the Corona pandemic (N=457) by eight lower secondary mathematics teachers. The findings indicate that mathematics teaching can in part be regarded as very low in activation. This result is supported by the fact that the range of activities demanded in the solution process can be assessed as narrow and that within this range, low cognitive

demands are anchored in each case. From the perspective of a temporal development, this profile is rather stable and at best shows selective developments. These findings are not related in this study to the results from classroom teaching by the same teachers.

1. Einleitung

Maßnahmen zur Minderung der globalen Corona-Pandemie schränkten 2020 und 2021 grenzübergreifend nicht nur das öffentliche Leben ein (Kulturveranstaltungen, Einzelhandel, Gastronomie etc.), sondern stellten auch das Bildungssystem vor massive Herausforderungen: Die mehrwöchige Schließung von Schulen¹ bedeutete die Fortführung des (Fach-)Unterrichts in einer Form, die zum einen aufgrund der Absenzdauer nicht mehr als ein ergänzender Bestandteil des Präsenzunterrichts (z. B. beim Blended Learning) zu betrachten ist. Zum anderen blieb zunächst die Durchführung des Unterrichts in vielerlei Hinsicht unregelt (organisatorisch und rechtlich: bzgl. Kommunikation, Durchführung, Leistungsüberprüfung und -bewertung). Unter diesen wenig vertrauten Umständen wurde der Fachunterricht schulformübergreifend zum Teil mehrmonatig unter Distanzbedingungen durchgeführt. Auch der Fachunterricht unter Distanzbedingungen muss ebenso wie der Präsenzunterricht als „invitation for understanding and sense-making“ (Biesta & Stengl 2016, S. 34) verstanden werden. Klieme (2020, S. 120 f.) weist ausführend darauf hin, dass die Qualität des Fernunterrichts besonders durch das Vermögen, die Schüler:innen kognitiv zu aktivieren – eine der drei Basisdimensionen der Unterrichtsqualität –, bedingt wird (Klieme et al., 2009; Decristan et al., 2020).

Blickt man speziell auf den Mathematikunterricht, so liegt folgender Zusammenhang über zentrale Indikatoren der Unterrichtsqualität nahe: Die auf ihre Mediatorrolle zwischen dem Lehrplan einerseits und dem professionellen Lehrerhandeln und den individuellen Lernprozessen andererseits zurückführbare Dominanz von Mathematikaufgaben (Neubrand et al., 2011) scheint mit dem Übergang zum Fernunterricht eher vergrößert. Zwar rekonstruieren Aufgaben den Unterricht nach Kunter und Voss (2011) üblicherweise nicht vollständig und müssen auch in ihrer Implementation gesehen werden. Erste empirische Ergebnisse zur Umsetzung des Fernunterrichts während der Corona-Pandemie zeigen jedoch, dass hier Aufgaben oft für sich alleine standen, weil der

diskursive Umgang mit ihnen (Aufgabenimplementation) nur äußerst eingeschränkt erfolgen konnte (Huber & Helm 2020; Helm et al., 2021). Es kann also angenommen werden, dass sich in den eingesetzten Aufgaben kognitive Herausforderungen sowie die Variationsbreite des implementierten Fernunterrichts deutlicher erkennen lassen als es für den Präsenzunterricht der Fall ist. Hier lässt sich weiter fragen, ob und inwiefern die im Vergleich zum Präsenzunterricht verringerte Unterstützung von Lernenden mit dem von Klieme (2020, S. 127) vermuteten Aufkommen bloßer Aktivität (statt kognitiver Aktivierung) im Fach Mathematik führt.

Vor dem Hintergrund des angenommenen Wirkungsmaßes von Aufgaben auf die Unterrichtsqualität unter den beschriebenen Unterrichtsbedingungen ist es interessant zu beleuchten, welche Merkmale und Variationsbreite die während dieses Zeitraums eingesetzten Aufgaben aufweisen. Auf der Grundlage einer entsprechenden Charakterisierung der Aufgabenmerkmale erscheint es weitergehend sinnvoll zu untersuchen, inwieweit der mathematische Unterrichtsgegenstand zu einer Veränderung, Erweiterung, Umstrukturierung und Neubildung bestehender Wissensstrukturen anregt.

Die hier vorgestellte explorative Studie soll einen Beitrag zur fachdidaktischen Analyse des Fernunterrichts leisten, indem das Potential von Aufgaben zur kognitiven Aktivierung überprüft wird. Hierbei geht es zunächst um eine Deskription mittels abgeleiteter Aufgabenmerkmale, die ihrerseits einen Rückschluss auf das kognitive Aktivierungspotential der Aufgaben sowie auf nicht intendierte Effekte ermöglichen. Die untersuchten Aufgaben wurden im Fach Mathematik während des zwischen März und Juni 2020 erteilten Fernunterrichts eingesetzt. Dass dies einer eingehenden Untersuchung bedarf, ist damit zu begründen, dass es eine vergleichbare Rahmensituation bisher nicht gab und dass vermutlich vor der Pandemie durchgeführte, inhaltlich vergleichbare Studien größtenteils *unter vertrauten Bedingungen* stattfanden. Im Unterschied dazu kann davon ausgegangen werden, dass die drastische Einschränkung der Lehr-Lern-Dynamik durch das annähernd gänzliche Fehlen digital gestützten (Begleit-)Unterrichts (Helm et al., 2021) den Einfluss der Klassenführung und vor allem der konstruktiven Unterstützung im ersten halben Jahr des coronabedingten Fernunterrichts eingeschränkt hat. Es scheint damit auf der Hand zu liegen, dass die bisherigen empirischen Befunde zur kognitiven Aktivierung mittels Aufgaben allenfalls mit Einschränkungen auf den betrachteten Fernunterricht übertragbar sind.

Mit dem Fokus der Untersuchung greifen wir die aktuelle Diskussion um Planung, Organisation und

Durchführung des Unterrichts *unter wenig vertrauten Bedingungen* aus der Fachperspektive auf (Klieme, 2020; Voss & Wittwer, 2020). Hierzu werden zunächst Merkmale des Unterrichts identifiziert, die in besonderem Maße auf das Lernen und somit auch auf die Unterrichtsqualität Einfluss nehmen. Mit Blick auf das fachbezogene Lernen wird darauf aufbauend das Merkmal *kognitive Aktivierung* im Zusammenhang mit ihrem wichtigsten „Träger“, den Mathematikaufgaben, betrachtet (Kap. 2). Die Aufgaben, die im Mathematikunterricht während des Fernunterrichts eingesetzt wurden, werden anschließend so klassifiziert, dass damit ihr Beitrag zur Unterrichtsdimension kognitive Aktivierung der Lerngelegenheiten ermöglicht wird (Kap. 4). Danach erfolgt die Untersuchung des vollständigen Aufgabensatzes – einer lokalen Konvenienzstichprobe – von acht Lehrenden (sechs Gymnasial- und zwei Realschullehrkräfte) unter den Perspektiven der kognitiven Aktivierung. Die Studie geht hier über die Beschreibung des Ist-Zustandes hinaus und integriert zusätzlich den Aspekt der Entwicklung, indem sie als Längsschnittstudie angelegt wird (Kap. 5).

2. Unterrichtsqualität

2.1 Lernprozesse im Unterricht

Der Übergang von input- zu output-orientierten Steuerungsverfahren wird von einer sich sukzessive wandelnden Auffassung von Lehr-Lernarrangements begleitet; letztere werden dabei als Schwerpunkte im Rückgriff auf didaktische und lerntheoretische Orientierungen in Theorie und Praxis erkennbar (Mietzel 2017; Reinmann 2013), deren zentraler Ausdruck eine spezifische Verschiebung des Fokus vom Lehren zum Lernen darstellt (vgl. Klieme 2018).

Im Hinblick auf das Lernen als den Kern unterrichtlicher Settings und Prozesse geht man nun davon aus, dass sich die angelegten Lernprozesse zunächst am Verständnis der Lernenden orientieren sollten (Neubrand 2015; Ufer et al. 2015). Auf dieser kognitiv-konstruktivistischen Sichtweise fußend, wird Lernen nach Reinmann (2013) als ein aktiver, individueller, kumulativer mentaler Prozess aufgefasst, der durch eine aktiv-eigenständige Wissenskonstruktion charakterisiert ist (Mietzel 2017; Reusser & Pauli, 2013). In dieser Auffassung vom Lernen wird bereits deutlich, dass der Lernerfolg von der Qualität der Lerngelegenheiten abhängt, die ihrerseits zugleich als eine „Ko-Konstruktion“ von Lehrkräften und Lernenden zu betrachten sind. Eine hinsichtlich der bedingenden Faktoren differenzierende Schematisierung dieser Perspektive findet man beispielsweise in Helmkes Angebot-Nutzungs-Modell von Lernprozessen (vgl. 2012, S. 42), das den Unterricht als ein Lehr-Lern-Wechselspiel zwischen den beteiligten

Akteuren auffasst. Der von der Lehrkraft durchgeführte Unterricht repräsentiert in seinen Facetten seinerseits ein *Angebot* von Lerngelegenheiten, die sich mit Formen deren *Nutzung* durch die Schüler:innen verbinden. Das Lernangebot des Mathematikunterrichts umfasst dabei zum einen die durch das Curriculum festgelegten mathematischen Themen, Ziele und Anforderungen und zum anderen die Art und Weise (Darbietungsform, Aufgaben oder Erfolgskontrolle), wie diese Themen durch die Lehrkraft dargeboten werden (Hammer 2016; Hillje 2012; Knoll 2003). In ihrer Bündelung zu einer Lernumgebung führen diese jedoch nicht notwendigerweise und direkt zu gewünschten Wirkungen, da die nachgeordnete Nutzung ihrerseits von Mediationsprozessen auf Schülerseite abhängig ist (s. Helmke 2012), zu denen nach Schiepe-Tiska et al. (2013, S. 126) Motivation, Lernaktivitäten und das Interesse zählen. Die *Wirkung* des Unterrichts, d. h. die Effizienz der Nutzung des bereitgestellten Angebots, hängt folglich von der sozial gerahmten Aktivität der beteiligten Lernenden ab.

Auf der Grundlage von theoretischen und empirischen Ansätzen lassen die bisherigen Ausführungen den Unterricht als eine Gelegenheitsstruktur für verständnisorientierte Lernprozesse erkennen. Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, welche Merkmale des Lernangebots in besonderem Maße verständnisorientierte Lernprozesse initiieren und aufrechterhalten.

2.2 Konzeption von Unterrichtsmerkmalen

Ein „guter Unterricht“ definiert sich nach Ufer et al. „durch seine Ergebnisse, also seine Auswirkungen auf die individuelle Entwicklung“ (2015, S. 411) der Lernenden. Vor dem Hintergrund bisheriger Ausführungen zum Lernen innerhalb einer Angebot-Nutzungs-Struktur erscheint es sinnvoll, dass Kunter und Voss die Qualität des Unterrichts daran festmachen, ob und inwieweit es einer Lehrkraft gelingt, „geeignete Strukturen zu schaffen, die den Schülern die Möglichkeit eröffnen, verständnisvolle Lernprozesse zu beginnen und aufrechtzuerhalten, das heißt also für angemessene Anregung zu sorgen“ (2011, S. 87). Derartige Strukturen, die – so der wissenschaftliche Konsens – die Wirkung des Unterrichts in besonderem Maße beeinflussen, können nach Oser und Baeriswyl (2001) zum einen in den Sichtstrukturen und zum anderen in den Tiefenstrukturen verortet werden. Die Perspektive der Beschreibung von Unterricht mittels Sichtstrukturen bezieht sich auf dessen übergeordnete Organisationsmerkmale (bspw. Organisationsformen, methodische Unterrichtselemente oder Sozialformen) (s. Decristan et al., 2020).

Die Merkmale der Tiefenstrukturen können davon unabhängig variieren und beziehen sich auf die

Prozesse der Interaktion zwischen Lehrkräften und Lernenden, den Lernenden untereinander oder der Lernenden und dem Lernstoff (allg.: direkte Lehr-Lern-Prozesse). Dabei zeigen aktuelle Studien der empirischen Unterrichtsforschung, dass Sichtstrukturen den Tiefenstrukturen gegenüber eine deutlich kleinere Erklärungskraft im Hinblick auf den Lernfortschritt von Lernenden besitzen (vgl. Kunter & Voss, 2011). Bei der konzeptionellen Systematisierung der Tiefenstrukturen lassen sich im aktuellen Diskurs zunächst mit *Effizienz der Klassenführung*, die sich im rahmengebenden und strukturierenden Lehrerhandeln zeigt, sowie *konstruktive Unterstützung*, die vorwiegend am Lernenden orientierende motivationale und affektive Prozesse beinhaltet, zunächst zwei allgemeindidaktische *Dimensionen der Unterrichtsqualität* unterscheiden (s. Minnameier et al., 2015).²

Aufbauend auf der in 2.1 beschriebenen kognitiv-konstruktivistischen Annahme über das Lernen werden diese durch eine dritte Qualitätsdimension, die *kognitive Aktivierung*, ergänzt. Diese umfasst und bündelt die Merkmale des Unterrichts, die das fachbezogene Lernen verständnisorientiert fördern. Dabei wird auf der Grundlage der getroffenen Annahmen über das Lernen ein Unterricht als kognitiv aktivierend beschrieben, wenn die Lernenden zu einer aktiven mentalen Auseinandersetzung mit Lerninhalten auf einem für sie optimalen Niveau angeregt werden (Minnameier et al., 2015; vgl. Wygotski, 1978). Klieme et al. (2009) engen den Begriff ein und verorten ihn zugleich, indem sie feststellen, dass ein derartiger Unterricht inhaltliches Verstehen unterstützt, indem fachliche Konzepte explizit gemacht werden und die Beziehung der elementaren Einheiten untereinander sowie die grundlegenden Ideen, Gesetze, Einsichten, Verfahren und Repräsentationen verdeutlicht werden. Lehrkräfte fördern in ihrem Unterricht kognitive Aktivierung, indem sie nach Fauth und Leuders (2018, S. 2) das Vorwissen aktivieren und daran anknüpfen, die Lernenden auf hohem Niveau zu einer Auseinandersetzung mit dem Gegenstand anregen und die Lernprozesse lernzielorientiert gestalten. Einen zentralen Beitrag leisten hierzu Aufgaben und Problemstellungen, die über die Anwendung von Routineschemata hinausgehen und somit erhöhte kognitive Ansprüche an die Lernenden stellen. Diese Prozesse fordern nach Hammer (2016, S. 12) zielgerichtet Argumentationen, die Entwicklung mehrerer Lösungswege oder deren Reflexion bzw. Beurteilung heraus. Das Maß der kognitiven Aktivierung hängt folglich davon ab, inwieweit die Lernenden zu einer fachlich vertieften, selbstständigen Auseinandersetzung mit Inhalten bewegt werden, d. h. inwieweit die mentalen Auseinandersetzungen eine Veränderung, Erweiterung oder Neubildung bestehender

Wissensstrukturen bewirken (Riecke-Baulecke, 2017, S. 156). Die theoretischen Annahmen über den Einfluss der kognitiven Aktivierung auf das Lernen sind zum einen auf die kognitiven Lerntheorien (vgl. Pianta & Hamre, 2009) und zum anderen auf die Kognitionsforschung zurückzuführen (Mietzel, 2017). Aktuelle empirische Befunde scheinen diese Annahmen zu bestätigen (vgl. Kunter & Voss, 2011). Ein Beitrag von Leuders und Holzäpfel (2011) zur Auffassung des Begriffes kognitive Aktivierung zeigt dennoch, dass das Konzept innerhalb der Mathematikdidaktik unterschiedlich ausgelegt wird, was folgerichtig dazu führt, dass es aktuell auf unterschiedlichen Erscheinungsebenen operationalisiert werden kann (s. Klieme et al., 2009; Kunter et al., 2005). So wird kognitive Aktivierung beispielsweise im Rahmen der COACTIV-Studie in erster Linie anhand der im Unterricht eingesetzten Aufgaben untersucht und bewertet (vgl. Neubrand et al., 2011).

Auf der Grundlage einer kognitiv-konstruktivistischen Auffassung vom Lernen wurden in diesem Abschnitt als Teil der Tiefenstrukturen des Unterrichts drei Basisdimensionen identifiziert (effiziente Klassenführung, konstruktive Unterstützung und kognitive Aktivierung), die in hohem Maße auf die Leistungen der Lernenden und somit auch auf die Unterrichtsqualität einwirken. Helm et al. (2021) zeigen in ihrem Review für den hier betrachteten Zeitraum, dass der Fernunterricht bzgl. der ersten beiden Dimensionen einen immanenten Mangel gegenüber dem Regelunterricht aufweist. Aus der Fachperspektive daran anschließend wird im Folgenden auf die Basisdimension kognitive Aktivierung im Zusammenhang mit einem ihrer wichtigsten „Träger“, den Mathematikaufgaben, näher eingegangen.

2.3 Aufgaben und kognitive Aktivierung

Die Breite der Auffassungen vom Aufgabenbegriff wird in der mathematikdidaktischen Literatur im Wesentlichen dadurch bestimmt, wie eng bzw. breit die kennzeichnenden Merkmale gefasst werden. Die in dieser Arbeit verwendete, empirisch bewährte Auffassung vom Aufgabenbegriff geht auf die Arbeiten von Neubrand zurück. Sie fasst Aufgaben als „eine Aufforderung zur gezielten Bearbeitung eines eingegrenzten mathematischen Themas [auf]. Aufgaben sind immer Auseinandersetzung mit einem Beispiel eines Sachverhalts.“ (2002, S. 18). Aufgaben werden hier folglich als ein Instrument im Umgang mit Beispielen eines mathematischen Sachverhalts charakterisiert, wobei die zu bearbeitenden Beispiele sowohl konkrete (konkrete Zahlen, konkrete Kontexte, konkrete Größen) als auch allgemeine (variable Größen, Beziehungen zwischen den Ausgangsdaten in Antworten) Beziehungen betrachten können (ebd.).

Lehrkräfte steuern folglich mit den eingesetzten Aufgaben die Aktivitäten innerhalb der Lerngelegenheiten, womit den Aufgaben eine zentrale inhaltliche und didaktische Bedeutung im Lehr-Lern-Gefüge zugesprochen wird. Vor dem Hintergrund des Untersuchungsgegenstandes der vorliegenden Studie ist es zunächst sinnvoll zu fragen, ob diese Bedeutung, die dem Präsenzunterricht zuschreibbar ist, auch bei dem hier untersuchten Fernunterricht erkennbar wird. Die Analysen von Kerres (2013) und Reinmann-Rothmeier zeigen, dass Aufgaben auch hier als „Herz‘ virtueller Lernumgebungen“ (2003, S. 30) betrachtet werden können, womit die obige Auffassung von Aufgaben sowohl auf den Präsenz- als auch auf den Fernunterricht übertragbar ist.

Die kognitiv-konstruktivistische Lernauffassung zugrunde legend, hängt die Initiierung und Aufrechterhaltung von Lernprozessen nach Neubrand et al. (2011) davon ab, ob und in welchem Maße Lernende komplexe kognitive Operationen ausführen, um Aufgaben erfolgreich zu lösen. Derartige kognitive Prozesse, die beim Lösen von Aufgaben verlangt werden, können in „Facetten kognitiver Prozesse“ (Neubrand et al., 2011, S. 118) unterschieden werden, deren Orchestrierung zugleich in qualitativer Hinsicht zu unterschiedlichen Lernergebnissen führen kann (vgl. Stein & Lane, 1996; Shayer & Adhmi, 2007).

Fauth und Leuders (2018) oder auch Hammer (2016) nennen Forderungen an Aufgabenkonzeptionen, die für kognitive Aktivierung als konstituierend betrachtet werden können. Hierzu zählt unter anderem, dass

- die Aufgaben Modellierungen einfordern und nicht durch Routineschemata beschreibbar sind,
- Argumentationen und Begründungen eingefordert werden,
- dass ein Wissenstransfer von Bekanntem auf neue Situationen nötig ist,
- relevante Informationen erst gesucht und strukturiert werden müssen und
- im Lösungsprozess mehrere Perspektiven möglich sind oder auch eingefordert werden.

Die aufgeführten Aufgabenmerkmale lassen erkennen, auf welche Weise Aufgaben einen potenziellen Beitrag zur kognitiven Aktivierung leisten; dies wird weniger an den Stoffgebieten oder Inhalten (Jordan et al., 2006) festgemacht, sondern vielmehr an Tätigkeiten und Prozessen, um mit einer bestimmten Art von Herausforderung umzugehen (rezeptiv oder konstruktiv), die potenziell eine spezifische Art der Aktivierung von Mathematik erfordert. Das Maß der kognitiven Aktivierung hängt folglich davon ab, inwieweit die Lernenden zu einer fachlich vertieften, selbstständigen Auseinandersetzung mit Inhalten

bewegt werden, d. h. inwieweit die mentalen Auseinandersetzungen eine Veränderung, Erweiterung oder Neubildung bestehender Wissensstrukturen bewirken (Riecke-Baulecke, 2017, S. 156). Das Potential zur kognitiven Aktivierung durch Aufgaben kann insofern als ein Bündel an Aufgabencharakteristika aufgefasst werden, die in der Literatur mittels kognitiver Kategorien abgebildet werden. Bezogen auf die fünf oben aufgezählten Forderungen zu Aufgabenmerkmalen können so nacheinander Kategorien wie Typ mathematischen Arbeitens, Argumentieren, kognitive Prozesse, Repräsentationsformen des Wissens und Anzahl der Lösungswege identifiziert werden (Neubrand et al., 2011; Maier et al., 2014). Diese spezifischen Herausforderungen sind hinsichtlich ihrer kognitiven Komplexität stufbar und wurden bereits in Kategoriensystemen verwendet (Drücke-Noe, 2014; Jordan et al., 2008; Maier, 2014). Hier wurden sie, zum Teil in unterschiedlichen Zusammensetzungen, zur Erfassung der Qualitätsdimension kognitive Aktivierung der Tiefenstrukturen im Mathematikunterricht herangezogen. Solche kategorialen Untersuchungen erfassen stets objektive Aufgabenmerkmale, indem sie die angeregten kognitiven Prozesse und Tätigkeiten betrachten. Hammer (2016, S. 49) spricht in diesem Zusammenhang von Aufgabenpotentialen, welche die Aufgabenbearbeitung und damit die Lehr-Lern-Dynamik unberücksichtigt lassen.

2.4 Lernziele des Mathematikunterrichts als eine Einflussgröße auf die Aufgabenauswahl

Unter anderem nach Fauth und Leuders (2018) sollten die intendierten kognitiven Prozesse beim Lösen von Aufgaben die zentralen Ziele des Mathematikunterrichts hinreichend gut abbilden. In den Bildungsstandards wie auch in den nordrhein-westfälischen Kernlehrplänen werden auf Winter (1995) zurückgehende allgemeine Bildungsziele des Mathematikunterrichts als zentral erachtet. Winter (ebd., S. 38 ff.) postuliert, dass der allgemeinbildende Mathematikunterricht jedem Lernenden drei *Grunderfahrungen* ermöglichen sollte:

1. *Anwendungsorientierung*: Technische, soziale und kulturelle Erscheinungen und Vorgänge mithilfe der Mathematik wahrnehmen, verstehen und unter Nutzung mathematischer Gesichtspunkte beurteilen.
2. *Strukturorientierung*: Mathematik mit ihrer Sprache, ihren Symbolen, Bildern und Formeln in der Bedeutung für die Beschreibung und Bearbeitung von Aufgaben und Problemen inner- und außerhalb der Mathematik kennen und begreifen.
3. *Problemorientierung*: In der Bearbeitung von Fragen und Problemen mit mathematischen Mitteln allgemeine Problemlösefähigkeit erwerben.

Aus ihrer in konzeptioneller Hinsicht fundamentalen Bedeutung für die hiesigen Bildungsstandards und damit auch die im Zusammenhang mit dem Unterricht stehenden Prozesse folgt eine entsprechende Orchestrierung der zu vermittelnden Kompetenzen. Mit Blick auf Aufgaben als ein zentrales Mittel der Steuerung (Vorgaben abbildend) in einem Schulsystem bedeutet dies: Die verankerten Charakteristika der kognitiven Aktivierung sollten ein verhältnismäßiges Abbild dieser Vorgaben sein, was sich primär in einer ausgewogenen Verteilung der drei Grunderfahrungen im verankerten Anforderungsprofil zeigt. Hinsichtlich einer konkreten Zuordnung (Grunderfahrung → kognitive Tätigkeit als Kategorie), die eine derartige Realisierung der Grunderfahrungen sichtbar werden lässt, wird an dieser Stelle auf Drücke-Noe (2014, S. 248 ff.) sowie auf Neubrand (2015) verwiesen.

2.5 Fernunterricht: Begriff und empirische Befunde

Der Unterricht, der in dieser Studie untersucht werden soll, ist in seiner Umsetzung bisher einzigartig. In der Literatur wird er zumeist als *Fernunterricht* bezeichnet (Helm et al., 2021; Porsch & Porsch 2020). Dabei handelt es sich um die „Vermittlung von Kenntnissen und Fähigkeiten, bei der der Lehrende und der Lernende ausschließlich oder überwiegend räumlich getrennt sind und der Lehrende oder sein Beauftragter den Lernerfolg überwachen“ (FernUSG § 1). Die gewählte Bezeichnung umschreibt jedoch nicht trennscharf die während der Pandemie vorfindbaren Unterrichtsbedingungen (s. Huber & Helm, 2020). So zeigen Porsch und Porsch (2020), dass sich die Begriffe Fernunterricht (zumeist freiwillige zahlungs- und zulassungspflichtige Fernlehrgänge) wie auch Homeschooling (durch Eltern geplant, organisiert und durchgeführt) nicht vollumfänglich für eine Beschreibung des hier untersuchten Unterrichts eignen.

Die Gestaltung wie auch die Auswirkungen des Fernunterrichts sind bisher lediglich im höheren Bildungswesen unter anderem unter dem Begriff „Blended Learning“ (oder des „Flipped Classroom“), also in Mischformen aus Unterricht in Präsenz und digital gestütztem Fernunterricht, untersucht worden (Wagner et al., 2020; Weidlich & Spannagel, 2014). Studien, in denen der Untersuchungsfokus auf Lehr-Lern-Arrangements unter wenig bekannten Bedingungen in der Sekundarstufe I gelegt wird, sind sehr überschaubar und beschränken sich bisher vornehmlich auf die Sichtstrukturen des Unterrichts (Bakkenhus et al., 2017; Helm et al., 2021; Voss & Wittwer, 2020). Im Rahmen dieser Studie wird auf der Grundlage von Aufgaben die Basisdimension kognitive Aktivierung, also die Tiefenstrukturen des Unterrichts

analysiert (s. 2.2). Besonders ist hierbei, dass die vorfindbaren Lehr-Lern-Prozesse nicht als Wirkung einer dynamischen Verzahnung von Merkmalen innerhalb der Tiefenstrukturen des Unterrichts betrachtet werden können. So weisen erste empirische Befunde auf eine multifaktoriell bedingte mangelhafte Kommunikation und somit ein weitgehendes Fehlen der begleitenden Aufgabenimplementation im Untersuchungszeitraum hin (Helm et al., 2021; Huber & Helm, 2020). Erste Umfragen im Deutsch-Österreichisch-Schweizerischen Raum liefern zudem Hinweise darauf, dass kognitiv herausfordernde und kreative Aufgaben im ersten Halbjahr des coronabedingten Fernunterrichts unterrepräsentiert waren. Die Aufgaben wurden sehr häufig in Form von Arbeitsblättern verschickt, wobei digitale Lehr-Lern-Formate (Videokonferenzen, Live-Kommunikation oder Erklärvideos) annähernd gänzlich fehlten. Dabei blieben Potentiale des sozialen Lernens unausgeschöpft, da kooperatives Lernen, Individualisierung oder eine innere Differenzierung selten bis nie stattgefunden haben (Helm et al., 2021). Vor diesem Hintergrund befürchten Klieme (2020) wie auch Helm et al., dass der Fernunterricht im hier betrachteten Zeitraum sehr „durch repetitives und mechanisches Abarbeiten von Lernaufgaben“ (ebd., S. 299) geprägt sei, was auf eine geringe kognitive Aktivierung hindeuten würde.

Fortlaufend veröffentlichte und zumeist sofort verbindliche Neuerungen seitens der Bildungspolitik bewirkten zudem mehrmaliges Nachsteuern innerhalb der Schulen. So trat in Nordrhein-Westfalen ab Mai 2020 das Bildungssicherungsgesetz in Kraft (MSW, 2020), das zentrale Punkte des aktuellen Schulgesetzes unwirksam werden ließ (u. a.: Die Versetzung in die höhere Klassenstufe ist nicht an ein Notenbild gekoppelt, alle schriftlichen Arbeiten werden ersatzlos gestrichen, Wegfall der zentralen (Abschluss-)Prüfungen (Abitur ausgenommen)). Unter anderem darin wird deutlich (s. a. Huber & Helm, 2020, S. 42), dass der gewohnte Lernfortschritt und dessen Überprüfung bildungspolitisch temporär nicht im normalen Maße erwartet wurden (s. Helm et al., 2021).

3. Forschungsfragen

Angesichts der aufgezeigten Bedeutung von Aufgaben für den Mathematikunterricht (2.2 und 2.3), insbesondere für den coronabedingten Fernunterricht (aufgrund der verringerten Bedeutung effizienter Klassenführung und konstruktiver Unterstützung), ist eine Analyse und Evaluation der Aufgabenanforderungen notwendig (2.3), um Hinweise bezüglich der Prozesse und Tätigkeiten sowie auch die Variationsbreite des erteilten Mathematikunterrichts zu liefern. Dabei sollen die Aufgaben zugleich allgemeine Lernziele sowie die Anforderungen der kompetenz-

orientierten Bildungsstandards bzw. der nordrhein-westfälischen Kernlehrpläne abbilden (2.4). Um erste Hinweise darauf zu erhalten, ob die in der Corona-Zeit eingesetzten Aufgaben ein derart vertieftes, konzeptuelles Verständnis z. B. von mathematischen Sachverhalten fördern, erfolgt die Untersuchung entlang der im Folgenden präsentierten Forschungsfragen. Dabei kann aufgrund aktueller empirischer Ergebnisse vermutet werden (2.5), dass die annähernd gänzlich fehlende Nutzung unterstützender Lehr-Lern-Formate Kalkülorientierung und Reproduktion in besonderem Maße fördern könnte, wohingegen explorative Aktivitäten (Begründungen und argumentative Interaktion) vermindert sein dürften.

(1) Auf welches kognitive Aktivierungspotential lassen die im Zeitraum des erteilten Fernunterrichts eingesetzten Mathematikaufgaben schließen?

Hierbei geht es zunächst um eine Deskription mittels der in 2.3 abgeleiteten Aufgabenmerkmale, die ihrerseits einen Rückschluss auf das kognitive Aktivierungspotential der Aufgaben sowie auf nicht intendierte Effekte ermöglichen.

Darüber hinaus wird in dieser Studie über die Beschreibung des Ist-Zustandes hinaus eine Entwicklungsperspektive integriert:

(2) Inwiefern verändert sich das kognitive Aktivierungspotential der Aufgaben zwischen dem Beginn (die ersten drei Wochen des Fernunterrichts im März und April 2020: Z1) und dem Ende (die letzten drei Wochen vor den Zeugniskonferenzen im Juni 2020 Z2) des erteilten Fernunterrichts?

Ziel ist also, Aufgaben so zu klassifizieren, dass ihr potentieller Beitrag zur kognitiven Aktivierung erkennbar wird. Die zur Umsetzung dieses Ziels herangezogenen Beurteilungskategorien (Typ mathematischen Arbeitens, Argumentieren, kognitive Prozesse, Repräsentationsformen des Wissens, Anzahl der geforderten Lösungswege) haben sich empirisch bewährt und entstammen einschlägiger didaktischer und pädagogisch-psychologischer Literatur (Maier et al., 2014; Neubrand et al., 2011).

4. Methodologie

4.1 Datengrundlage

Bei dem hier untersuchten Datensatz handelt es sich um Aufgabensätze des im Zeitraum zwischen März und Juni 2020 (12 Schulwochen) durchgeführten Mathematikunterrichts. Zu dieser Konvenienz-Stichprobe zählen insgesamt 457 (Teil-)Aufgaben, die von sechs Gymnasial- (L1–L6; fünf männlich, eine weiblich) und zwei Realschullehrkräften (L7 und L8; eine männlich, eine weiblich) aus dem Raum Köln im Fernunterricht in den Klassenstufen 5 bis 10

eingesetzt wurden (Spannweite = 98; M = 57,1; SD = 30,5). Diese Aufgaben wurden zumeist wöchentlich in Form von Arbeitsblättern, ausgewählten Aufgaben aus dem genutzten Schulbuch oder dem begleitenden Arbeitsheft als zusammenhängende Aufgabenfolge an die Klassen per Mail oder Post verschickt, wobei eine Aufgabenfolge eine Lerneinheit darstellt; sie thematisieren die Inhalte aus der Sekundarstufe I (Klasse 5, 7, 8, 9 und 10 (Realschule)), wobei L1 und L6 Aufgaben aus zwei Klassenstufen bei den Autoren eingereicht haben.

Die Datengrundlage dieser Studie bilden die vorliegenden Aufgaben; daher wurde forschungsmethodisch eine Dokumentenanalyse, genauer eine *rationale Aufgabenanalyse*, vorgenommen. Hierbei werden Aufgaben nach logischen und intuitiven Gesichtspunkten, d. h. aufgrund bereits bestehender psychologischer und erziehungswissenschaftlicher Theorien und Konzepte zu mentalen Grenzen, Verarbeitungskapazitäten und kognitivem Anregungspotenzial, untersucht (Resnick & Ford, 1984, S. 58). Die rationale Aufgabenanalyse stellt demnach theoretisch die „ideale Performanz“ eines Aufgabenlösenden fest (ebd.). Letztendlich kodierten zwei qualifizierte Rater unabhängig voneinander 40 Aufgaben (ca. 9 %) anhand der erstellten Kategoriensysteme mit einer kategorienübergreifenden Interraterübereinstimmung von mind. $\kappa = 0,8$. Da die Übereinstimmungswerte gut waren, wurden die Kategoriensysteme zur weiteren Kodierung aller Aufgaben verwendet. Keine Lehrkraft unterstützte ihren Unterricht durch digitale Lehr-Lern-Formate (Videokonferenzen, Live-Kommunikation oder Erklärvideos). Damit ist eine funktionale Differenzierung der eingesetzten Aufgaben kaum möglich und entfällt somit. Eine begleitende *Aufgabenimplementation* in Form von einführenden oder ergänzenden Texten (selbst verfasst oder aus der Literatur übernommen) verschickten zwei Lehrkräfte. Diese Erläuterungen werden jedoch hier nicht untersucht.

4.2 Aufgabenkategorien und ihre Ausprägungen

Um das Potential der Aufgaben zur kognitiven Aktivierung erkennbar werden zu lassen, wird eine Auswahl empirisch bewährter Klassifikationskategorien genutzt, die (i) der Mathematikdidaktik sowie auch (ii) der allgemeinen Didaktik entstammen. Ihre Auswahl wird mit den in Abschnitt 2.3 abgeleiteten Aufgabenmerkmalen begründet. Die Kategorien der Gruppe (i) gründen auf den konzeptionellen Vorarbeiten von Neubrand et al. (2002) und wurden im Rahmen des Projektes COACTIV (vgl. Jordan et al., 2006; 2008) verwendet, in dem großflächig die kognitive Aktivierung durch Unterrichts- wie auch Testaufgaben, die in neunten und zehnten Klassen an deutschen Schulen eingesetzt wurden, untersucht wurden (Kategorien I, II und V der vorliegenden Studie). Die allgemeindidaktischen und somit fächerübergreifend anwendbaren Kategorien (ii) orientieren sich zumeist an der revidierten Bloom'schen Lernzieltaxonomie (Kategorien III und IV, s. Anderson & Krathwohl 2001). Sie wurden von Maier et al. (2010, 2014) als Bestandteil eines Kategoriensystems entwickelt und finden vor allem in der Lehrer:innenbildung Anwendung (vgl. Drüke-Noe et al., 2017). Ihre Orientierung an Lernzieltaxonomien in den jeweils festgelegten Kategorie-Ausprägungen bewirkt, dass der *kognitive Anspruch* in Form spezifischer Tätigkeiten identifizierbar wird und von Ausprägung zu Ausprägung ansteigt; jede der allgemeindidaktischen Kategorien kann somit als ein Anforderungsmerkmal des Lösungsprozesses betrachtet werden, das seinerseits im Hinblick auf die kognitive Komplexität einstuftbar ist. Das vorliegende Klassifikationssystem legt somit den Fokus auf die Facetten kognitiver Prozesse beim Bearbeiten von Aufgaben. Die Kategorien reichen dabei von niedrig bis hoch inferenten Klassifikationen (s. Tab. 1). Weiterführendes ist im folgenden Klassifikationsschema und bei Jordan et al. (2006; 2008) sowie Maier et al. (2010; 2014) nachzulesen.

	Kategorie	Ausprägungen der Kategorien		
		(1)	(2)	(3)
I.	Typ mathematischen Arbeitens (hoch)	Technische Aufgabe	Prozedurale Modellierungsaufgabe	Konzeptuelle Modellierungsaufgabe
II.	Argumentation (moderat)	Keine erforderlich	Einfache Argumentationen	Mehrschrittige und komplexere Argumentationen
III.	Kognitive Prozesse (moderat)	Reproduktion	Transfer	Problemlösen
IV.	Repräsentationsformen des Wissens (moderat)	Eine	Integration	Transformation
V.	Anzahl der geforderten Lösungswege (niedrig)	Kein	Ein	Mehrere

Tab. 1: Zentrale Kategorien der Studie (adaptiert nach Jordan et al., 2006 und Maier et al., 2014) mit jeweils drei Ausprägungen sowie (in Klammern) der Angabe, wie inferent die Kodierung der jeweiligen Kategorie ist.

Die dreistufige Ausdifferenzierung der Kategorien II–IV wurde an den Forschungsansatz methodisch angepasst und weicht deswegen von den vierstufigen Kategoriensystemen von Jordan et al. (2008) und Maier et al. (2014) ab. So soll die explorative Studie eher der Hypothesengenerierung dienen und ist somit weniger als eine präzise fachdidaktische bzw. eine ggf. nachgeschaltete vertiefende Aufgabenanalyse zu betrachten. Im Folgenden werden die Kategorien erläutert, Beispiele finden sich *im Anhang*.

4.2.1. Typ mathematischen Arbeitens

Mit dieser Kategorie wird der Typus des antizipierten Lösungsprozesses erfasst (s. Neubrand, 2002). Hier wird zunächst zwischen zwei Typen von Aufgabenlösungsprozessen unterschieden, der zweite Typ wird anschließend noch einmal unterteilt:

a) Fehlt jegliche Kontextanbindung, ist der durchschrittene Lösungsprozess ohne eine Mathematisierung und ohne innermathematische Strukturierungsleistung beschreibbar. Solche *technischen Aufgaben* weisen einen vorgegebenen Ansatz auf und erfordern im Lösungsprozess lediglich einen kontextlosen Abruf von „Fertigkeiten“ im Sinne eines bekannten Bearbeitungsalgorithmus (z. B. Rechnen oder Konstruieren nach vorgegebenen Regeln). Diesem Aufgabentyp werden auch Aufgaben zugeordnet, die auf bereits vorgegebene Voraussetzungen die Anwendung von „Faktenwissen“ verlangen.

b) Das Lösen der Aufgabe erfordert die Überführung des Problems „in einen verarbeitenden Ansatz und den Rückbezug des Ergebnisses auf die Ausgangssituation“ (Jordan et al., 2006, S. 31). In dieser modellhaft als Modellierungskreislauf angenommenen Weise (Neubrand et al., 2011, S. 120) strukturierte Lösungsprozesse finden ihren Niederschlag in prozeduralen und konzeptuellen Modellierungsaufgaben. *Prozedurale Modellierungsaufgaben* werden dadurch charakterisiert, dass in ihrem Lösungsprozess das prozedural-algorithmische Denken dominiert. Bei den *konzeptuellen Modellierungsaufgaben* steht im Verarbeitungsprozess das begriffliche Denken im Mittelpunkt. Beide Aufgabentypen können sowohl in inner- als auch außermathematische Kontexte eingebettet sein.

Die Kategorie Typ mathematischen Arbeitens erfasst die Art des benötigten Wissens, nicht jedoch, „auf welchem kognitiven Anspruchsniveau sich die zu leistenden Prozesse befinden.“ (Jordan et al., 2008, S. 88). Die folgenden Kategorien operationalisieren das Anspruchsniveau der kognitiven Prozesse und Aktivitäten innerhalb des Aufgaben-Bearbeitungsprozesses. Der Vollzug dieser Prozesse kann auf drei im Hinblick auf die Komplexität unterscheidbaren Niveaus stattfinden.

4.2.2 Argumentieren

Während in der disziplinübergreifend gesichteten Literatur durchaus mehrere Auffassungen vom Argumentieren verwendet werden (Budke et al., 2015; Brunner, 2014), wird in der Mathematikdidaktik mathematisches Argumentieren häufig verstanden als der „im Unterricht stattfindende soziale Prozess, bestehend aus dem Anzeigen eines Begründungsbedarfs und dem Versuch, diesen Begründungsbedarf zu befriedigen“ (Schwarzkopf, 2000, S. 240). Niss und Højgaard (2019, S. 16) betonen ausschärfend die produktive und die rezeptive Facette dieser Kompetenz, indem sie Argumentieren als das Produzieren und Analysieren von Argumenten auffassen; mit Argumenten sind hier vor allem Ketten von Aussagen gemeint, die durch Schlussfolgerungen miteinander verbunden sind. Dabei geht es darum, sowohl Begründungen für mathematische Aussagen finden zu können, als auch vorhandene Begründungen kritisch zu reflektieren und zu prüfen.

Aufgaben des einfachen Argumentationsniveaus zeichnen sich dadurch aus, dass sie die „Standardargumentationen“ (Jordan et al., 2006, S. 40) sowie Argumentationen, für die Alltagswissen genügt, verlangen. Dies zeigt sich zumeist in der Einschrittigkeit der Argumente oder auch daran, dass eine rein rechnerische Argumentation eingefordert wird. Das höchste Niveau erfordert mindestens³ die Entwicklung und – falls gefordert – das Nachvollziehen überschaubarer mehrschrittiger, auch begrifflich geprägter mathematischer Argumente.

4.2.3 Kognitive Prozesse

Mit dieser Kategorie wird erfasst, wie neuartig oder komplex die Aufgabenanforderungen sind, die ihrerseits zur kognitiven Aktivierung beitragen. Das Niveau der Aktivierung nimmt nach dem vorliegenden Kategoriensystem mit der Neuartigkeit, der Vielzahl und Vielfalt der auszuführenden Lösungsschritte und dem erforderlichen flexiblen Umgang mit Wissen zu. Dabei umfasst die Stufe der Reproduktion Aufgaben, deren Lösung Kleinknecht et al. (2013) primär als eine Erinnerungsleistung betrachten. Dies sind einschrittige Rechenaufgaben, die mit Standardverfahren (Dreisatz, Volumenberechnung etc.) gelöst werden können, bzw. Routineaufgaben, die die Schüler:innen mit großer Wahrscheinlichkeit schon mehrfach bearbeitet haben (höchstens mit anderen Zahlen, z. B. aus Schulbüchern).

Eine Aufgabe erfordert in ihrem Lösungsprozess eine Transferleistung, wenn die Problemsituation von den bereits geübten Aufgaben abweicht. Die Transferleistung und damit die Komplexität der kognitiven Prozesse hängt davon ab, inwieweit das zur Lösung erforderliche Wissen in der Aufgabenstellung

vorgegeben wird, was Maier et al. als „Differenz zwischen Aufgaben- und Lernsituation“ beschreiben (2010, S. 87). Die Kategorieausprägung Problemlösen geht wesentlich auf Neubrand (2002) zurück und lässt sich von den Anforderungen der vorangegangenen Ausprägung dadurch abgrenzen, dass das zur Aufgabenlösung erforderliche Wissen nicht wie bei der Reproduktion sowie dem Transfer bereits in abrufbarer Form vorhanden ist. Hier sind vielmehr Aufgaben zu subsumieren, deren Lösung die Schaffung neuen Wissens bedingt. Dabei müssen Lösungsideen und Verfahren in zuvor nicht geübter Weise – bezogen auf den Kernlehrplan in NRW – entwickelt und kombiniert werden.

4.2.4 Repräsentationsformen des Wissens

Das Wissen kann nach Edelman (2000) unterschiedlich codiert bzw. repräsentiert sein. Kompetenzgenerierung und damit auch kognitive Entwicklung kann dabei durch den Umfang des Umgangs mit Darstellungsformen (z. B. Tabelle, Graph, Diagramm, Gleichung oder Text) gefördert werden. Die kognitive Komplexität dieses Umgangs wird wesentlich dadurch bestimmt, inwieweit die vorfindbaren Repräsentationen im Lösungsprozess verarbeitet werden sollen. Auf der niedrigsten Stufe kann sich das zur Lösung erforderliche Wissen auf eine Repräsentationsform beschränken (beispielsweise eine vorgegebene Gleichung); darüber hinaus können auf dieser Stufe die aus einer Repräsentationsform entnommenen Informationen auch dazu verwendet werden, eine andere, ebenfalls vorgegebene, Standard-Darstellungsform anzufertigen (Text → Term oder Funktionsgleichung → Graph). Im Unterschied dazu wird das zur Lösung erforderliche Wissen auf der mittleren Stufe aus mehreren Darstellungsformen integriert. Hierbei müssen Zusammenhänge zwischen den Darstellungen hergestellt werden, die durch einen Darstellungswechsel und damit zusammenhängende Übersetzungsprozesse erreicht werden. Auf der höchsten Stufe muss das Wissen in eine nicht vorgegebene Darstellungsform überführt werden. Hierzu muss reflektiert eine Darstellungsform ausgewählt werden, die die inneren Zusammenhänge adäquat abbildet (beispielsweise soll die von der Zeit abhängige Füllhöhe des Wassers in einem Gefäß in eine andere Darstellungsform übertragen werden).

4.2.5 Anzahl der geforderten Lösungswege

Ein weiteres Merkmal ist der in der Aufgabe aufge-spannte „Lösungsraum“ (Jordan et al., 2008, S. 90), d. h. die Erfassung der Frage, in welchem Maße die Aufgabe auf unterschiedlichen Wegen gelöst werden soll. In Anlehnung an Neubrand et al. (2011, S. 123) wird hier zwischen *keinem*, *einem* und *mehreren explizit eingeforderten Lösungswegen* unterschieden. In der dritten Ausprägung dieser Kategorie können

sowohl mehrere Methoden als auch mehrere Lösungswege eingefordert werden. Diese Aufgaben bilden dabei nicht nur den Charakter von Mathematik angemessener ab (s. Blum et al., 2010, S. 162 ff.), sondern fördern auch den Erwerb intelligenten Wissens, das im Gegensatz zu verlötetem oder fragmentiertem Wissen, bedeutungshaltig und flexibel nutzbar ist.

Zur (Un-)Abhängigkeit der Kategorien voneinander bleibt festzustellen, dass die Kategorie I (Typ mathematischen Arbeitens) andere Kategoriezuweisungen bedingt; so erfordern hier technische Aufgaben nach Driike-Noe (2014, S. 55) als einzige Tätigkeit allenfalls den Gebrauch von Repräsentationen, während in den Kategorien II, III und V stets die Ausprägung „kein“ zugeordnet wird. Die Kategorien II–V sind unabhängig voneinander.

Um Hinweise auf eine Veränderung des kognitiven Aktivierungspotenzials der eingesetzten Aufgaben im Sinne der zweiten Forschungsfrage zu erhalten, wurden Aufgaben des Einführungszeitraums (Z1) mit denen der Endphase (Z2) des Fernunterrichts verglichen. Aufgrund der Stichprobengröße und der Verletzung des Kriteriums einer Normalverteilungsannahme wurde dafür ein non-parametrisches Verfahren für unabhängige Stichproben (Mann-Whitney-Test) gewählt.

4.2.6 Exemplarische Anwendung des Klassifikationssystems

Um die Anwendung des Klassifikationsschemas aus Tab. 1 beispielhaft zu verdeutlichen, wird die Kodierung von zwei Aufgaben (s. Abb. 1) bezüglich der fünf Kategorien in Tab. 2 gezeigt.

Fasse zusammen: $a - 10 + 2a - 8 + a =$
Ein Stehpult aus Holz hat trapezförmige Seitenwände, die 40 cm tief sind. Die längere Seite der Seitenwand ist 1,25 m hoch, die kürzere 1,01 m hoch. Berechne, wie viel Quadratmeter Holz insgesamt für die Produktion des Stehpultes benötigt wird. Schätze hierzu die fehlenden Längen.

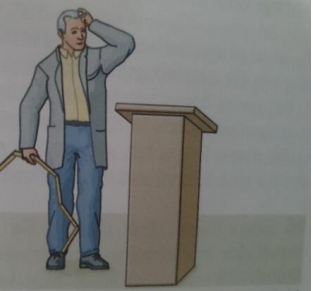


Abb. 1: Beispiele für Aufgaben (oben: L1-7er-AB3-Nr.1-Z1; unten: L2-8er-AB6-Nr.5-M; aus Giersemehl et al., 2015, S. 79)

Zunächst wird deutlich, dass es sich bei Aufgabe L1-7er-AB3-Nr.1-Z1 (Abb. 1, oben) um eine technische Aufgabe handelt, da hier der Ansatz bereits vorgegeben wird (Kat. I). Das kognitive Aktivierungspotenzial kann als niedrig eingeschätzt werden, da hier keine Argumentation erforderlich ist (Kat. II), die

eingeforderten Verfahren weder neuartig noch komplex sind (Kat. III), nur eine Repräsentationsform (Term) vorgegeben und benötigt wird (Kat. IV) und da kein Lösungsweg expliziert werden soll (Kat. V). Dagegen handelt es sich bei L2-8er-AB6-Nr.5-M (Abb. 1, unten) um eine prozedurale Modellierungsaufgabe, bei der prozedural-algorithmisches Denken dominiert (Kat. I), bei der im Lösungsprozess keine Argumentation eingefordert wird (Kat. II), bei der ein einfacher Transfer (Kat. III) erforderlich ist, bei der verschiedene Repräsentationsformen (Text und Abbildung) integriert werden müssen (Kat. IV) und bei der wiederum kein expliziter Lösungsweg angegeben werden soll (Kat. V) (s. Tab. 2).

Kategorie	Aufgabe	Aufgabe	
		L1-7er-AB3-Nr.1-Z1	L2-8er-AB6-Nr.5-M
I.	Typ math. Arbeitens	1	2
II.	Argumentation	1	1
III.	Kognitive Prozesse	1	2
IV.	Repräsentationsformen	1	2
V.	Anzahl der gef. Lösungswege	1	1

Tab. 2: Zuordnung der Aufgaben aus Abb. 1 zu den Kategorieausprägungen aus Tab. 1

5. Ergebnisse

Forschungsfrage 1

Die 457 Aufgaben wurden unabhängig voneinander in Bezug auf alle 5 Kategorien auf einer Skala von 1 bis 3 kodiert. Diese Skala erfasst dabei die Ausprägung der jeweils betrachteten Kategorien (Tab. 1). Tab. 3 zeigt, wie sich Ausprägungen innerhalb der fünf Analysekategorien im untersuchten Aufgabensatz verteilen.

Der *Typ mathematischen Arbeitens* beschreibt, durch welche kognitiven Merkmale das mathematische Arbeiten beim Durchlaufen des Lösungsprozesses gekennzeichnet ist. Hier kann eine Aufteilung auf 1) kalkülorientierte, technische Aufgaben (34,8 %), deren Bearbeitung, anders als die der prozeduralen bzw. konzeptuellen Modellierungsaufgaben, höchstens den Gebrauch von Repräsentationen erfordert, und 2) prozedurale Modellierungsaufgaben („typische“ Textaufgaben; 50,5 %) festgestellt werden.

Dieses Ergebnis bedeutet, dass insgesamt fast zwei Drittel aller Aufgaben innermathematische Strukturierungsleistungen bzw. Modellierungen verlangen; wie komplex die dabei eingeforderten kognitiven Prozesse jedoch sind, wird damit nicht erfasst, dies leisten die übrigen vier Kategorien.

Kategorie	Ausprägungen der Kategorien (Anzahl und Anteil in %)		
	(1)	(2)	(3)
	I.	159 (34,8 %)	231 (50,5 %)
II.	432 (94,5 %)	23 (5,0 %)	2 (0,5 %)
III.	332 (72,6 %)	122 (26,7 %)	3 (0,7 %)
IV.	347 (75,9 %)	110 (24,1 %)	0 (0 %)
V.	441 (96,5 %)	10 (2,2 %)	6 (1,3 %)

Tab. 3: Verteilung der kodierten Aufgaben auf die Kategorien und ihre Ausprägungen

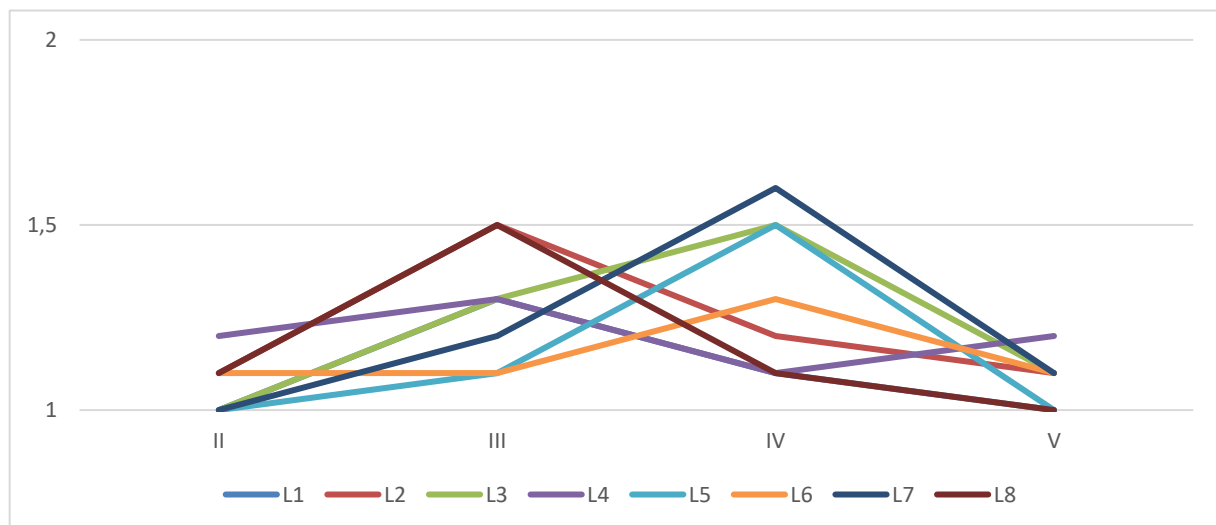


Abb. 2: Kategoriale Mittelwerte der Aufgabensätze der Lehrkräfte L1 – L8 bezogen auf die Kategorien II – V

Kategorie	Ausprägungen der Kategorien (Anzahl und Anteil in %)						U-Test
	Z1 (N = 149)			Z2 (N = 141)			
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
I. Typ mathematischen Arbeitens	51 (34,2 %)	75 (50,3 %)	23 (15,4 %)	50 (35,4 %)	69 (48,9 %)	22 (15,6 %)	U=10651,5 z=-0,21 p=0,83
II. Argumentation	144 (96,7 %)	4 (2,7 %)	1 (0,7 %)	132 (93,6 %)	8 (5,6 %)	1 (0,8 %)	U=11112,5 z=-0,85 p=0,40
III. Kognitive Prozesse	103 (69,1 %)	45 (30,2 %)	1 (0,7 %)	104 (73,8 %)	36 (25,5 %)	1 (0,8 %)	U=10516,5 z=-0,02 p=0,98
IV. Repräsentationsformen	114 (76,6 %)	35 (23,4 %)	0 (0 %)	94 (77,7 %)	27 (22,3 %)	0 (0 %)	U=10723 z=-0,31 p=0,76
V. Anzahl der geforderten Lösungswege	145 (97,3 %)	3 (2,1 %)	1 (0,6 %)	135 (95,7 %)	4 (2,8 %)	2 (1,6 %)	U=10815 z=-0,44 p=0,66

Tab. 4: Verteilung der Mathematikaufgaben der ersten (Z1) und der letzten drei Wochen (Z2) des erteilten Fernunterrichts auf die Kategorien und ihre Ausprägungen

Ca. 94 % aller Aufgaben erfordern kein mathematisches *Argumentieren*. Wird Argumentieren im Lösungsprozess der Aufgaben verlangt, so handelt es sich dabei annähernd ausschließlich um einschränkende oder auch rein rechnerische „Standardargumentationen“, wohingegen mehrschrittige und komplexe Begründungen (z. B. in Form von komplexen Strategien, Beweisen oder Verallgemeinerungen) nicht verlangt werden.

Da in der Kategorie *Kognitive Prozesse* ca. 73 % der Aufgaben der Ausprägung „Reproduktion“ zugeordnet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass Neuartigkeit, Vielfalt auszuführender Lösungsschritte und flexibler Umgang mit Wissen innerhalb der Aufgaben eher als sehr gering einzuschätzen ist. Damit zeigt sich zugleich, dass der Datensatz als aktivierungsarm charakterisierbar ist. Neben solchen Aufgaben, deren Lösung in erster Linie als reine Routine- bzw. „Erinnerungsleistung“ zu betrachten ist, werden mit einem Anteil von 25,6 % Aufgaben eingebunden, deren Anforderungen eine Transferleistung verlangen. Aufgaben, in denen Lösungsansätze und Verfahren in zuvor nicht geübter Weise entwickelt und kombiniert werden (Ausprägung: Problemlösen), werden im Rahmen des hier untersuchten Fernunterrichts nicht gestellt.

Eine ähnliche Verteilung der untersuchten Aufgaben auf die drei Ausprägungen zeigt sich auch innerhalb der Kategorie *Repräsentation des Wissens*. So enthalten die meisten Aufgaben des erteilten Fernunterrichts entweder nur eine Repräsentationsform oder die aus einer Repräsentationsform entnommenen Informationen werden dazu verwendet, eine andere, auch vorgegebene, Standard-Darstellungsform

anzufertigen. Eine aktive Verknüpfung unterschiedlicher Wissensformen ist somit zumeist nicht notwendig.

Die Verteilung der Aufgaben auf die Ausprägungen der Kategorie *Anzahl der Lösungswege* zeigt, dass diese allenfalls punktuell explizit in der Aufgabenstellung verlangt werden. Auch dieses Aufgabenmerkmal leistet also aufgrund des annähernd gänzlichen Fehlens multipler Perspektiven auf das Problem einen geringen Beitrag zur kognitiven Aktivierung und somit auch Denkflexibilisierung oder auch Kompetenzerleben im erteilten Fernunterricht.

In Abb. 2 sind die Mittelwerte der Kategorien II bis V der einzelnen Lehrkräfte aufgeschlüsselt; die mit dem Aufgabentyp verbundene Denkweise (Kat. I) trägt nicht per se zur kognitiven Aktivierung bei und wird deswegen nicht mit abgebildet. Es wird deutlich, dass der Beitrag der Argumentation sowie auch der multiplen Lösungswege zur kognitiven Aktivierung bei allen Lehrkräften als sehr gering anzusehen ist. Abweichungen lassen sich allenfalls im Hinblick auf die Anforderungen bei kognitiven Prozessen sowie auch beim Umgang mit Darstellungen festmachen. Hierbei fällt auf, dass keine Lehrkraft zugleich in beiden Kategorien ein höheres Anspruchsniveau verlangt und die Unterschiede eher als gering einzustufen sind. Dass die berichteten Bodeneffekte bzw. das Ausbleiben der höchsten Ausprägung kein Artefakt der Kodierung darstellen, zeigt sich daran, dass es durchaus Unterrichtsaufgaben mit höherstufigen Ausprägungen gibt. Die unterrichtlichen Rahmenbedingungen, unter denen diese Aufgaben berücksichtigt wurden, sind jedoch mit denen der vorliegenden Studie nur sehr eingeschränkt vergleichbar (vgl. Drüke-Noe, 2014).

Die Verteilung der untersuchten Mathematikaufgaben auf die Kategorien und ihre Ausprägungen (Tab. 3) deuten eher auf ein niedriges durch die Aufgaben vermitteltes kognitives Aktivierungspotential während des Corona-Zeitraums hin. Zu dieser Charakterisierung trägt insbesondere der kategorienübergreifend festgestellte (Kat. II-V), zumeist sehr hohe Beitrag von Kategorieausprägungen bei, in denen die spezifischen Prozesse nicht eingefordert werden (Ausprägung 1). Tätigkeiten der Ausprägung 2 und vor allem 3, die auf eine hohe Kategorieintensität deuten würden, die also eine aktive Verknüpfung und ein tieferes Verständnis der Inhalte fördern, bleiben stark unterrepräsentiert.

Forschungsfrage 2

Um Hinweise auf Veränderungen der kognitiven Aktivierung durch Aufgaben im Sinne der zweiten erkenntnisleitenden Frage zu untersuchen, werden nun die Aufgabensätze aus dem Zeitraum der Einführung (Z1) und der Endphase (Z2) des Fernunterrichts zum Vergleich herangezogen. Tab. 4 verdeutlicht die Verteilung der Aufgaben beider Aufgabensätze über die Ausprägungen der fünf betrachteten Kategorien.

Sowohl in Bezug auf die Kategorie Typ mathematischen Arbeitens als auch auf die anderen vier Kategorien, die die kognitive Komplexität des Lösungsprozesses der Aufgaben erfassen sollen, wird deutlich: Betrachtet man die ersten und die letzten drei Wochen des untersuchten Zeitraums, zeigen sich so gut wie keine Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der Aufgaben auf die Kategorieausprägungen (bestätigt durch paarweise Mann-Whitney-U-Tests – selbst ohne Bonferroni-Korrektur, s. Tab. 4).

6. Zusammenfassung und Diskussion

Die hier vorgestellte, explorative Studie stellt die Befunde einer Untersuchung von Lernaufgaben im Fach Mathematik (N=457) des während des ersten Lockdowns (März 2020–Juni 2020) durch acht Lehrkräfte erteilten Fernunterrichts dar. Dabei wurde mit Hilfe eines Kategoriensystems, dessen Kategorien typische mathematische Denkweisen sowie auch die kognitiven Prozesse erfassen, das den Aufgaben inhärente Aktivierungspotential empirisch untersucht. Da es sich bei dem untersuchten Datensatz um eine Konvenienz-Stichprobe handelt, sind die getroffenen Aussagen nicht verallgemeinerbar.

Die Ergebnisse weisen aus der Perspektive der rationalen Aufgabenanalyse zunächst in die Richtung, dass die Mathematikaufgaben im betrachteten Zeitraum der Schulschließungen insgesamt eine niedrige kognitive Komplexität aufweisen. Kennzeichnend ist hierbei für den gesamten Untersuchungszeitraum, dass als (Kat. I) Typ mathematischen Arbeitens

hauptsächlich technische Aufgaben sowie prozeduralen Modellierungen auftreten. Konzeptuelle Modellierungsaufgaben werden dagegen in deutlich geringerem Maße eingesetzt. Der damit insgesamt schwerpunktmäßig eingeforderte Verarbeitungsprozess des Modellierens überrascht, da man vor dem Hintergrund der parallel nicht genutzten unterstützenden digitalen Lehr-Lern-Formate und der beispielsweise im Aufgabensatz Lernaufgaben (Einstiegs- und Hausaufgaben) der COACTIV-Studie überwiegenden kontextfreien technischen Aufgaben (Jordan et al., 2008) eher eine Zunahme dieser erwarten würde; normativ betrachtet sollte das Ziel des Mathematikunterrichts jedoch sein, die drei Denk- und Arbeitsweisen (d. h. die drei Typen mathematischen Arbeitens, Kat. I) quantitativ adäquat (Neubrand 2015) zu berücksichtigen.

Die Untersuchung der eingeforderten spezifischen Tätigkeiten und ihrer Ausprägungen in den Aufgaben weist darüber hinaus in die Richtung, dass die mit (Kat. III) kognitive Prozesse sowie (Kat. IV) Repräsentationsformen des Wissens vertretene Spannweite komplexitätsgenerierender Kategorien eine eher schmale Aktivierungsbreite besitzt; innerhalb dieser Bandbreite werden zudem jeweils geringe kognitive Ansprüche eingefordert. Diese geringe konzeptuelle Tiefe zeigt sich zum einen darin, dass die höchsten, kognitiv komplexen Kategorie-Ausprägungen durchgehend unbesetzt bleiben und die niedrigsten, aktivierungsarmen Ausprägungen zugleich deutliche Anforderungs-Schwerpunkte bilden; zum anderen werden (Kat. II) Argumentationen sowie (Kat. V) multiple Lösungswege insgesamt allenfalls punktuell eingefordert. Dieses Ergebnis ist anschlussfähig an bereits vorliegende Befunde zum Unterricht unter vertrauten Bedingungen (Kleinknecht, 2019; Neubrand et al., 2011) und deutet in die Richtung, dass die darin verankerten Anforderungssituationen nur punktuell die Merkmale „guter fachlicher Lernaufgaben“ (Oelkers & Reusser, 2008, S. 408) aufweisen. Damit können offenkundig nicht alle Lernenden während des untersuchten Fernunterrichts umfassend alle drei Grunderfahrungen der Struktur-, der Anwendungs- und der Problemorientierung machen (Winter, 1995), was im Widerspruch steht zu den breit konsentierten Forderungen, die die Grundlage der Bildungsstandards und der nordrhein-westfälischen Kernlehrpläne bilden.

Die Befunde weisen somit eher auf ein sehr geringes durch die Aufgaben vermitteltes Aktivierungspotential während des Corona-Zeitraums hin. Zu dieser Charakterisierung trägt insbesondere bei, dass kategorienübergreifend kognitiv aktivierungsarme Kategorieausprägungen festgestellt wurden. Dies wird darüber hinaus nicht nur am weitgehenden Fehlen von Aufgaben mit Aktivitäten der mittlerem und vor

allem auch hohen Ausprägung deutlich, die erst eine aktive Verknüpfung der Lern-Gegenstände anregen würden, sondern auch an der Berücksichtigung zahlreicher gleichartiger Aufgaben, bei denen das Umgehen mit Kalkülen (kontextfrei oder eingekleidet) eine zentrale Anforderung darstellt. Dieses Profil liefert durch ein weitgehendes Fehlen von Exploration, Scaffolding, Argumentationen und Artikulation (Helm et al., 2021) zugleich erste empirische Hinweise auf eine Bestätigung der Vermutung, dass sich kognitive Aktivierung im Fernunterricht besonders schlecht garantieren lässt (Klieme, 2020, S. 127).

Die Ergebnisse der längsschnittlichen Untersuchung deuten darauf hin, dass die oben beschriebene Aufgabenkonzeption über den ganzen Zeitraum hinweg eine gewisse Konstanz aufweist. So ist sowohl die Art des verlangten Wissens, die kleine Spannweite der in den Aufgaben verankerten Anforderungen sowie auch deren niedrige kognitive Komplexität miteinander vergleichbar.

Es stellt sich die Frage nach möglichen Ursachen der skizzierten Ergebnisse. Im Hinblick auf die verankerte Denk- und Arbeitsweise in den Aufgaben zeigte sich entgegen der Erwartung: Obwohl in den früheren Studien mehrfach bestätigt wurde, dass technische Aufgaben den Unterricht unter vertrauten Bedingungen dominieren und dies auch im Fernunterricht zu erwarten wäre (Huber & Helm, 2020; Helm et al., 2021), finden sich dennoch Hinweise darauf, dass prozedurales Denken die Verarbeitungsprozesse zu bestimmen scheint. Dies könnte unter anderem auf einen Steuerungseffekt durch die nordrheinwestfälischen Zentralen Prüfungen (insb. ZP10) hinweisen, da sie als high-stakes-tests derartige, empirisch partiell bestätigte Washback-Wirkungen aufweisen können (Kühn, 2010) und gerade diese Denk- und Arbeitsweise für die Lösungsprozesse der dortigen Testaufgaben teilweise typisch ist (vgl. Scheja, 2019, S. 79 f.). In diesem Fall wäre es sinnvoll zu fragen, ob der COACTIV-Datensatz (Erhebung 2003 und 2004) die Aufgabenkultur des aktuellen Präsenzunterrichts adäquat abbildet, da darin sämtliche, nach PISA eingeleitete Maßnahmen noch keinen Niederschlag finden konnten.

Die Ergebnisse zum ersten Untersuchungsaspekt stehen im Einklang mit empirischen Befunden zum Präsenzunterricht. Inwiefern und in welchem Maße die Ergebnisse der Untersuchung der Aufgabenprofile jedoch in die gleiche Richtung weisen, konnte hier aufgrund unterschiedlicher Kategorien, die den jeweiligen Studien zugrunde gelegt werden, nicht untersucht werden; dies sollte jedoch in einer vertiefenden Studie aufgegriffen werden. Dabei scheint es auf der Hand zu liegen, dass der annähernd gänzlich fehlende Prozess der Aufgabenimplementation – oder

weitergehend auch der konstruktiven Unterstützung – und unter Umständen die damit einhergehende Sorge der Lehrkräfte um einen Kontrollverlust (Ittner, 2017) eher eine Verminderung der kognitiven Komplexität der Anforderungen nach sich ziehen können. Dabei scheint nicht abwegig, dass gerade kognitiv komplexe Aktivitäten, die nach Meyer einen „methodischen Grundrhythmus“ (s. 2008, S. 29) verlangen, jedoch unter wenig vertrauten Bedingungen anzuregen sind, derartige Sorgen vermehrt provozieren. Um der beschriebenen Aktivierungsarmut der Mathematikaufgaben zukünftig gezielter zu begegnen, ergeben sich mögliche Ansätze für die Weiterentwicklung der Aufgabenkultur (auch) für den Fernunterricht. So können hier folgende Maßnahmen als zielführend angesehen werden:

- Fortbildungsmaßnahmen für Lehrkräfte, in denen ein Umgang mit Mathematikaufgaben (Analyse und Auswahl sowie ggf. Modifikation oder Konzeption) gefördert wird, der an Kriterien orientiert ist (v. a. jenseits inhaltlicher) (Aspekt: *Veränderung der Lehrerkognitionen*).
- Fortbildungen, die einen solchen Umgang mit Mathematikaufgaben auch unter den Bedingungen und unter Nutzung der Möglichkeiten (Lernplattformen, Lernsoftware, Erklärvideos) des Fernunterrichts sinnvoll zur Entfaltung kommen lassen (Aspekt: *Veränderung der Lehrerkognitionen*).
- Fortbildungen, die dazu beitragen, die Dynamik der Lehr-Lernprozesse im Fernunterricht erhöht aufzunehmen. Ziele sollten hier sein, Prozesse wie Differenzierung und Individualisierung durch Mathematikaufgaben und durch Arbeitsgruppen zu fördern. Dies gilt insbesondere für Feedbackprozesse als eine weitere Individualisierungsmaßnahme (Aspekt: *Veränderung des unterrichtspraktischen Handelns*).⁴

Entgegen der Erwartung weist die kognitive Aktivierung durch die untersuchten Aufgaben kaum Entwicklungen auf, was möglicherweise auf zu geringe zeitliche Abstände zwischen den beiden Erhebungen zurückzuführen ist. Hier wäre im zeitlichen Verlauf eher eine Verringerung der kognitiven Anregung zu erwarten, da davon ausgegangen werden kann, dass die Anforderungen der Aufgaben aus der Anfangsphase noch am Präsenzunterricht orientiert sind (s. Voss & Wittwer, 2020). Wohingegen Aufgaben der Endphase eher einem verringerten Lern- und Leistungsdruck innerhalb des Schulsystems (s. 2.5) sowie auch nach der punktuellen Wiedereinführung des Präsenzunterrichts einer verringerten *konstruktiven Unterstützung* der Lernenden (u. a. begleitende Aufgabenimplementation) unterliegen (Huber & Helm, 2020). Geht man also davon aus, dass hier *neue*

Inhalte erarbeitet wurden, würde man gegenüber der Einführungsphase eher eine signifikante Absenkung der kognitiven Anforderungen vermuten. Auch die häufig geäußerte und durch zahlreiche bildungspolitische Maßnahmen (Wegfall aller Klassenarbeiten und zentralen Prüfungen; die Versetzungsordnung wird außer Kraft gesetzt; rechtliche Grundlagen der Leistungsbewertung und der Teilnahmepflicht belieben unangepasst) gestützte Annahme, dass der stattgefundene Fernunterricht vorwiegend Übungs- und Vertiefungsaufgaben beispielsweise in Sinne des *assessment for learning* bereitstellt, kann hier nicht bestätigt werden, da dies eher eine Erhöhung der kognitiven Komplexität der Anforderungen zur Folge hätte.

Darin zeigt sich zugleich eine Grenze dieser Studie. So ist es methodisch offenbar nicht hinreichend, kognitive Aktivierung ausschließlich durch Aufgaben zu bewerten und so Rückschlüsse auf den erteilten Fernunterricht zu ziehen. Deshalb wäre es für anschließende Studien wünschenswert, zugleich die inhaltliche Spannweite (als eine unabhängige Dimension) der Lernphasen zu untersuchen. Unter anderem diese Ziele werden von uns mit der Durchführung der auf der vorliegenden Studie aufbauenden, größer angelegten Untersuchung geknüpft, womit auch die Limitation der relativ kleinen Stichprobe aufgehoben werden könnte. Schließlich ist es natürlich schwierig, ein subjektives Merkmal wie die Problemhaftigkeit einer Aufgabe (vgl. Rott, 2013) an objektiven Kriterien wie dem Lehrplan festzumachen; dies lässt sich bei einer Studie wie der vorliegenden, bei der ausschließlich Dokumente analysiert werden, aber nicht ändern.

Anmerkungen

¹ Zwischen dem 13. und dem 18. März 2020 haben alle Bundesländer flächendeckende Schulschließungen beschlossen.

² Hinsichtlich derartiger Basisfaktoren differenzieren Klieme et al. (2001) zwischen „Klassenführung“, „Kognitiver Aktivierung“ und „Schülerorientierung“.

³ Damit fallen darunter auch komplexere mathematische Argumente wie Beweise, Strategien oder Verallgemeinerungen, die entwickelt und schriftlich darlegt oder möglicherweise solche nachvollzogen werden sollen (vgl. Jordan et al. 2006, S. 40 f.).

⁴ Nicht unerwähnt bleiben sollte, dass zum Zeitpunkt des ersten Lockdowns viele Lehrer:innen aus Gründen der Gleichbehandlung (aufgrund von Schüler:innen ohne entsprechende technische Ausstattung) und Datensicherheit (Nicht-Zulassung von Videotelefoniesoftware) gar nicht in einen direkten Kontakt mit ihren Schüler:innen treten *durften* und diese Studie daher nichts über eine solche Aufgabenimplimentation im engeren Sinne aussagen kann.

Literatur

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (Hrsg.). (2001). *A Taxonomy for Learning and Teaching: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Bakenhus, S., Wernke, S. & Zierer, K. (2017). Welche Planungsüberlegungen tätigen berufserfahrene Lehrkräfte, wenn sie unter nicht vertrauten Rahmenbedingungen Unterricht vorbereiten müssen? In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?!* (S. 178-195). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Biesta, G. J. J. & Stengel, B. S. (2016). Thinking Philosophically About Teaching. In D. Gitomer & C. Bell, (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (S. 7–67). Washington, DC: American Educational Research Association.
- Blum, W., Drüke-Noe, C., Hartung, R. & Köller, O. (2010). *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I: Aufgabenbeispiele Unterrichts Anregungen, Fortbildungsideen*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Bruner, J. (1972). *Der Prozeß der Erziehung*. Berlin: Berlin-Verlag.
- Brunner, E. (2014). *Mathematisches Argumentieren, Begründen und Beweisen: Grundlagen, Befunde und Konzepte*. Heidelberg: Springer.
- Budke, A., Kuckuck, M., Meyer, M., Schäbitz, F., Schlüter, K. & Weiss, G. (2015). *Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern*. Münster: Waxmann.
- Büchter, A. & Leuders, T. (2005). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln. Lernen fordern – Leistungen überprüfen*. Berlin: Cornelsen Scriptor (3. Aufl. 2007).
- Decristan, Hess M, Holzberger D, Praetorius AK (2020). Oberflächen- und Tiefenmerkmale. Eine Reflexion zweier prominenter Begriffe der Unterrichtsforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 66. Beiheft, S. 102-116.
- Drüke-Noe, C. (2014). *Aufgabenkultur in Klassenarbeiten im Fach Mathematik. Empirische Untersuchungen in neunten und zehnten Klassen*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Drüke-Noe, C., Maier, U., Kleinknecht, M., Metz, K., Hoppe, H. & Bohl, T. (2017). Lehrkräfte bei der Auswahl und Gestaltung von Aufgaben professionalisieren: Wie verändert eine Fortbildung zu Merkmalen kognitiv-aktiver Aufgaben die aufgabenbezogene Unterrichtsplanung von Lehrkräften? In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?!* (S. 208 – 223). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Edelmann, W. (2000). *Lernpsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Eemeren, F. H. van, Grootendorst, R., Henkenmans, F. S., Blair, J. A., Johnson, R. H., Krabb, E. C. et al. (1996). *Fundamentals of argumentation theory: A handbook of historical background and contemporary developments*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Fauth, B. & Leuders, T. (2018). *Kognitive Aktivierung im Unterricht*. Stuttgart: Landesinstitut für Schulentwicklung.
- FernUSG (2020). Gesetz zum Schutz der Teilnehmer am Fernunterricht. Bundesamt für Justiz. Abgerufen von <https://www.gesetze-im-internet.de/fernusg/>
- Giersemehl, I., Jörgens, T., Jürgensen-Engel, T., Riemer, W., Sonntag, R. (2015). *Lambacher Schweizer –*

- Mathematik für Gymnasien 8*. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Verlag.
- Hammer, S. (2016). *Professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften im Umgang mit Aufgaben in der Unterrichtsplanung: theoretische Grundlegung und empirische Untersuchung*. Dissertation: LMU München.
- Helm, Ch., Huber, S. & Loisinger, T. (2021). Was wissen wir über schulische Lehr-Lern-Prozesse im Distanzunterricht während der Corona-Pandemie? – Evidenz aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24, 237-311.
- Helmke, A. (2012). *Unterrichtsqualität und Lehrberuflichkeit. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (4. Aufl.). Seelze: Kallmeyer/Klett.
- Hillje, M. (2012). *Professionelles Wissen von Mathematiklehrkräften und die didaktische Strukturierung – Analysen von Unterrichtsplanung und Unterrichtsdurchführung anhand von Aufgaben*. Dissertation: Universität Oldenburg.
- Huber, S & Helm, Ch. (2020). Lernen in Zeiten der Corona-Pandemie – Die Rolle familiärer Merkmale für das Lernen von Schüler*innen: Befunde vom Schul-Barometer in Deutschland, Österreich und der Schweiz. *DDS – Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Bildungspolitik und pädagogische Praxis, Beiheft 16*. Münster: Waxmann, 228, S. 37–60.
- Ittner, H. (2017). *Das Widerspenstige bändigen: Eine empirische Untersuchung zu den Gründen von Lehrkräften beruflicher Schulen für ihr pädagogisches Handeln*. Dissertation: Universität Potsdam
- Jordan, A., Ross, N., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Löwen, K., Brunner, M. & Kunter, M. (2006). *Klassifikationsschema für Mathematikaufgaben: Dokumentation der Aufgabenkategorisierung im COACTIV-Projekt*. Berlin: MPI für Bildungsforschung.
- Jordan, A., Krauss, S., Löwen, K., Blum, W., Neubrand, M., Brunner, M., Kunter, M. & Baumert, J. (2008). Aufgaben im COACTIV-Projekt: Zeugnisse des kognitiven Aktivierungspotentials in deutschen Mathematikunterricht. *Journal für Mathematikdidaktik*, 29, 83–107.
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*. 4. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.
- Kleinknecht, M. (2019). Aufgaben und Aufgabenkultur. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 2(1), 1–14.
- Klieme, E., Schümer, G. & Knoll, S. (2001). Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I: „Aufgabenkultur“ und Unterrichtsgestaltung. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), *TIMSS – Impulse für Schule und Unterricht* (S. 43 – 57). Bonn.
- Klieme, E. (2018). Unterrichtsqualität. In M. Gläser-Zikuda, M. Haring & C. Rohlf (Hrsg.), *Handbuch Schulpädagogik*. Stuttgart: Waxmann.
- Klieme, E., Pauli, C. & Reusser, K. (2009). The Pythagoras Study: Investigating effects of teaching and learning in Swiss and German classrooms. In T. Janik & T. Seidel (Hrsg.), *The power of video studies in investigating teaching and learning in the classroom* (S. 137–160). Münster: Waxmann.
- Klieme, E. (2020). Guter Unterricht – auch und besonders unter Einschränkungen der Pandemie? *DDS – Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Bildungspolitik und pädagogische Praxis, Beiheft 16*, 228, 37–60.
- Knoll, S. (2003). *Verwendung von Aufgaben in Einführungsphasen des Mathematikunterrichts*. Marburg: Tectum Verlag.
- Kunter, M. & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 85–113). Münster: Waxmann.
- Kühn, S. M. (2010). *Steuerung und Innovation durch Abschlussprüfungen?* Wiesbaden: VS.
- Leuders, T. & Holzäpfel, L. (2011). Kognitive Aktivierung im Mathematikunterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 39 (3), 213 – 230.
- Levav-Waynberg, A. & Leikin, R. (2012). The role of multiple solution tasks in developing knowledge and creativity in geometry. *Journal of Mathematical Behavior*, 31, 73–90.
- Maier, U., Kleinknecht, M., Metz, K. & Bohl, T. (2010). Ein allgemeindidaktisches Kategoriensystem zur Analyse des kognitiven Potenzials von Aufgaben. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 28(1), 84–96.
- Maier, U., Bohl, T., Drüke-Noe, C., Hoppe, H., Kleinknecht, M. & Metz, K. (2014). Das kognitive Anforderungsniveau von Aufgaben analysieren und modifizieren können: Eine wichtige Fähigkeit von Lehrkräften bei der Planung eines kompetenzorientierten Unterrichts. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 32 (3), 342–358.
- Meyer, H. (2008). *Unterrichtsmethoden I*. Theorieband, 12. Aufl. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Mietzel, G. (2017). *Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens*, 9. Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Minnameier, G., Hermkes, R. & Mach, H. (2015). Kognitive Aktivierung und konstruktive Unterstützung als Prozessqualitäten des Lehrens und Lernens. *Zeitschrift für Pädagogik* 61 (6), S. 837–856.
- MSW (2020). Gesetz zur Sicherung von Schul- und Bildungslaufbahnen im Jahr 2020, Abgerufen von https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_tail_text?anw_nr=6&vd_id=19439&vd_back=N596&sg=0&menu=1
- Neubrand, J. (2002). *Eine Klassifikation mathematischer Aufgaben zur Analyse von Unterrichtssituationen: Selbsttätiges Arbeiten in Schülerarbeitsphasen in den Stunden der TIMSS-Video-Studie*. Hildesheim: Verlag Franzbecker.
- Neubrand, M. (2015). Bildungstheoretische Grundlagen des Mathematikunterrichts. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 51 - 73). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Neubrand, M., Klieme, E., Lüdtke, O. & Neubrand, J. (2002). Kompetenzstufen und Schwierigkeitsmodelle für den PISA-Test zur mathematischen Grundbildung. *Unterrichtswissenschaft*, 30(1), 100–119.
- Neubrand, M., Jordan, A., Krauss, S., Blum, W. & Löwen, K. (2011). Aufgaben im COACTIV-Projekt: Einblicke in das Potenzial für kognitive Aktivierung im Mathematikunterricht. In M. Kunter et al. (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 115–132). Münster: Waxmann.
- Niss, M. & Højgaard, T. (2019). *Mathematical competencies revisited*. Educational Studies in Mathematics volume 102, S. 9–28.

- Oelkers, J. & Reusser, K. (2008). *Qualität entwickeln, Standards sichern, mit Differenz umgehen*. Berlin: BMBF.
- Oser, F. K. & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (S. 1031 – 1065). Washington: AERA.
- Pianta, R. C. & Hamre, B. K. (2009). Conceptualization, Measurement, and Improvement of Classroom Processes: Standardized Observation Can Leverage Capacity. *Educational Researcher*, 38(2), 109 – 119.
- Porsch, R. & Porsch, T. (2020). Fernunterricht als Ausnahmesituation Befunde einer bundesweiten Befragung von Eltern mit Kindern in der Grundschule. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), „Langsam vermisst ich die Schule ...“. Schule während und nach der Coronapandemie, *DDS – Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Bildungspolitik und pädagogische Praxis: Beiheft 16*, (S. 61–78). Münster: Waxmann.
- Reinmann, G. (2013). Didaktisches Handeln. Die Beziehung zwischen Lerntheorien und Didaktischem Design. Ebner, M. & Schön, S. (Hrsg.), *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (S. 127–138), 2. Auflage. epubli Verlag.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2003). Es fehlt einfach was! Ein Plädoyer für „mehr Gefühl“ durch Aufgabengestaltung im E-Learning, *Report (Literatur- und Forschungsreport Weiterbildung)*, 2, 21–42.
- Reiss, K. (2002). *Argumentieren, Begründen, Beweisen im Mathematikunterricht. Projektserver SINUS*. Bayreuth: Universität.
- Resnick, L. B. & Ford, W. W. (1984). *The Psychology of Mathematics for Instruction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reusser, K. & Pauli, C. (2013). Verständnisorientierung in Mathematikstunden erfassen – Ergebnisse eines methodenintegrativen Ansatzes. *Zeitschrift für Pädagogik*, 59 (3), 308 – 335.
- Riecke-Baulecke, T. (2017). Unterrichtsqualität. In: Abshagen, Barzel, Kramer, Riecke- Baulecke, Rösken-Winter, Selter (Hrsg.), *Basiswissen Lehrerbildung: Mathematik unterrichten* (S. 149 - 167). Seelze: Kallmayer.
- Rott, B. (2013). *Mathematisches Problemlösen: Ergebnisse einer empirischen Studie*. Münster: WTM.
- Scheja, B. (2019). *Analysen zum kognitiven Anspruch von Mathematikaufgaben – Befunde aus zentralen Prüfungen und Lehrerfortbildungen*. Dissertation, Universität zu Köln.
- Scheja, B. & Rott, B. (im Review). Funktionales Denken schülerzentriert fördern – eine unterrichtliche Beispielumsetzung der Erfassung und der Korrektur defizitärer Vorstellungen. *Mathematik lehren*.
- Schukajlow, S. & Krawitz, J. (2020). Ist Lösungsvielfalt lernförderlich? Multiple Lösungen beim Mathematischen Modellieren. *MNU Journal*, 73, 182–187.
- Schwarzkopf, R. (2000). *Argumentationsprozesse im Mathematikunterricht. Theoretische Grundlagen und Fallstudien*. Hildesheim: Franzbecker.
- Shayer, M. & Adhami, M. (2007). Fostering cognitive development through the context of Mathematics: Results of the CAME project. *Educational studies in Mathematics*, 64(3), 265 – 291.
- Stein, M. & Lane, S. (1996). Instructional Tasks and the Development of Student Capacity to Think and Reason: An Analysis of the Relationship between Teaching and Learning in a Reform Mathematics Project. *Educational Research and Evaluation*, 2(1), 50 – 80.
- Ufer, S., Heinze, A. & Lipowsky, F. (2015). Unterrichtsmethoden und Instruktionsstrategien. In R. Bruder, L. Heffendehl-Hebecker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 411-434). Heidelberg: Springer.
- Voss, T. & Wittwer, J. (2020). Unterricht in Zeiten von Corona: Ein Blick auf die Herausforderungen aus der Sicht von Unterrichts- und Instruktionsforschung. *Unterrichtswissenschaft*, 48, 601–627.
- Wagner, M., Gegenfurtner, A. & Urhahne, D. (2020). Effectiveness of the Flipped Classroom on Student Achievement in Secondary Education: A Meta-Analysis. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 35, 11-31.
- Weidlich, J., Spannagel, C. (2014). Die Vorbereitungsphase im Flipped Classroom. Vorlesungsvideos versus Aufgaben. In Rummier, K. (Hrsg.), *Lernräume gestalten – Bildungskontexte vielfältig denken*. Münster Waxmann, S. 237-248.
- Winter, H. (1995). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der GDM*, 61, 37-46.
- Wygotski, L. S. (1978). *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.

Anschrift der Verfasser

Bruno Scheja
St. Ursula Gymnasium Brühl
Kaiserstraße 22
50321 Brühl
schejab@uni-koeln.de

Benjamin Rott
Universität zu Köln
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Gronewald Str. 2
50931 Köln
benjamin.rott@uni-koeln.de

Anhang

In diesem Anhang werden die einzelnen Kategorien des Kategoriensystems ausführlich dargestellt; es wird jeweils begründet, wie die Kategorien dieser Studie aus Aufgabentaxonomien erwachsen und wie Zusätze und Veränderungen der ursprünglichen Taxonomien begründet sind. Zur besseren Veranschaulichung der hier beschriebenen Ausprägungen werden jeweils Beispielaufgaben präsentiert und erläutert. An die Erläuterungen schließt sich zudem ein *Kodierungskatalog* an.

Übersicht:

- (I) Typ mathematischen Arbeitens, S. 17
- (II) Argumentieren, S. 18
- (III) kognitive Prozesse, S. 19
- (IV) Repräsentationsformen des Wissens, S. 20
- (V) Anzahl der geforderten Lösungswege, S. 21

Im Anschluss werden ab S. 22 die Operationalisierungen (mit Anker- und Abgrenzungsbeispielen) für die Kategorieausprägungen vorgestellt.

Die in der Studie verwendete Aufgabenbezeichnung wird zur besseren Nachvollziehbarkeit anhand des folgenden Beispiel-Codes erläutert: **L5-5er-AB3-Nr.1-Z1**

- L5: Steht für die Lehrkraft, die die Aufgabe gestellt hat (Gymnasiallehrkräfte L1 – L6; Realschullehrkräfte: L7 und L8);
- 5er: Gibt die Klassenstufe an (hier die 5. Klassenstufe), in der die Aufgabe eingesetzt wurde;
- AB3: Damit wird die Position des Arbeitsblattes in der Aufeinanderfolge der eingesetzten Arbeitsblätter angegeben (hier das dritte Arbeitsblatt); verwendete eine Lehrkraft in einer Lerneinheit kein Arbeitsblatt, sondern beispielsweise ausgewählte Aufgaben aus einem Buch, so sind diese zu einem Arbeitsblatt zusammengefasst worden.
- Nr.1: Zwecks Eindeutigkeit erfasst diese Angabe die auf dem Arbeitsblatt vorfindbare Aufgabennummer.
- Z1: Gibt den Zeitraum während des Fernunterrichts an, in dem die Aufgabe gestellt wurde (Z1: die ersten drei Wochen des erteilten Fernunterrichts, Z2: die letzten drei Wochen vor den Zeugniskonferenzen; M: der sechswöchige Zeitraum zwischen Z1 und Z2). Dieser Zusatz bezüglich des Zeitraums ist sinnvoll, da die Anzahl und damit auch die Taktung der eingesetzten Arbeitsblätter zum Teil sehr voneinander abweichen, d. h. bei einer Lehrperson kann A3 noch Z1 sind, während es bei einer anderen schon zu M gehört.

Argumentieren (II.)

Während in der disziplinübergreifend gesichteten Literatur durchaus mehrere Auffassungen vom Argumentieren verwendet werden (s. Schwartz et al., 2010; Eemeren et al., 1996), herrscht innerhalb der Mathematikdidaktik weitgehend ein begrifflicher Konsens: So wird mathematisches Argumentieren als der „im Unterricht stattfindende soziale Prozess, bestehend aus dem Anzeigen eines Begründungsbedarfs und dem Versuch, diesen Begründungsbedarf zu befriedigen“ (Schwarzkopf 2000, S. 240), verstanden. Büchter und Leuders (2005, S. 44) sowie Reiss (2002, S. 2) verweisen weitergehend darauf, dass sich mathematisches Argumentieren in der Regel durch einen höheren Grad an logischer Kohärenz, Rationalität und Konsens auszeichnet, als dies in Alltagssituationen bzw. bei „alltagsbezogenem Argumentieren“ (Brunner, 2014, S. 33) oder in anderen Wissenschaften eingefordert wird.

Die Kategorie Argumentieren wurde von Blum und Jordan operationalisiert und fasst nach Jordan et al. die Fähigkeit, „eine geschlossene Argumentationskette zu präsentieren oder verschiedene Formen von mathematischen Argumentationen zu verstehen bzw. zu bewerten.“ (2006, S. 40). Dazu zählen alle Arten *explizit* eingeforderter Begründungen, so z. B. auch die Reflexion über ein mathematisches Modell. Da technische Aufgaben (s. Abb. A1) sowie Aufgaben L3-5er-AB3-Nr.4-Z1; L3-5er-AB6-Nr.4-Z2; L2-8er-AB8-Nr.2-Z2 (s. Abb. A2) ein derartiges Aufgabenmerkmal nicht aufweisen, kann ihnen die Ausprägung „keine erforderlich“ zugewiesen werden. Aufgaben des einfachen Argumentationsniveaus zeichnen sich dadurch aus, dass sie die „Wiedergabe von Standardargumentationen“ (Jordan et al., 2006) sowie Argumentationen, für die das Alltagswissen genügt, verlangen. Dies zeigt sich zumeist in der Einschrittigkeit der Argumente oder auch daran, dass eine rein rechnerische Argumentation eingefordert wird. In Anlehnung an Jordan et al. (ebd.) erfordert das höchste Niveau *mindestens*^{*)} die Entwicklung und – falls gefordert – das Nachvollziehen überschaubarer mehrschrittiger, auch begrifflich geprägter mathematischer Argumente (Abb. A2, L8-7er-AB3-Nr.4c-M).

^{*)} Damit fallen darunter auch komplexere mathematische Argumente wie Beweise, Strategien oder Verallgemeinerungen, die entwickelt und schriftlich darlegt oder möglicherweise solche nachvollzogen werden sollen (vgl. Jordan et al. 2006). Im Gegensatz zur fachdidaktisch angelegten COACIV-Studie werden diese beiden Argumentations-Niveaus in dieser Arbeit nicht unterschieden, da der Umgang mit mehrschrittigen Argumentationen bereits ein Merkmal kognitiv aktivierender Aufgaben ist.

Kognitive Prozesse (III.)

Mit dieser Kategorie wird erfasst, wie neuartig oder komplex die eingeforderten Lösungen sind, die ihrerseits die kognitive Komplexität bestimmen. Das Komplexitätsniveau der Ausprägungen nimmt nach dem vorliegenden Kategoriensystem mit der Neuartigkeit, der Vielzahl und Vielfalt der auszuführenden Lösungsschritte und dem erforderlichen flexiblen Umgang mit Wissen zu. Dabei umfasst die Stufe der Reproduktion Aufgaben, deren Lösung Maier et al. (2010, S. 87) primär als eine „Erinnerungsleistung“ betrachten. Nach Scheja et al. (im Review) sind dies einschrittige Rechenaufgaben, die mit Standardverfahren (z. B. Dreisatz, Volumenberechnung etc.) gelöst werden können. Routineaufgaben, die die Schülerinnen und Schüler mit großer Wahrscheinlichkeit schon mehrfach bearbeitet haben (höchstens mit anderen Zahlen, z. B. aus Schulbüchern) (Abb. A1; Abb. A3, L4-7er-AB3-Nr.8-Z1).

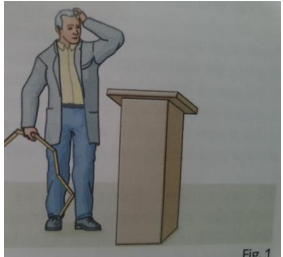
<p>L4-7er-AB3-Nr.8-Z1 Ein Taschenrechner kostete bisher 29,59€. Der Händler reduziert den Preis um 30%. Überschlage zunächst und berechne dann den neuen Preis des Taschenrechners</p>	<p>L2-8er-AB6-Nr.5-M Ein Stehpult aus Holz (siehe Fig. 1) hat trapezförmige Seitenwände, die 40 cm tief sind. Die längere Seite der Seitenwand ist 1,25 m hoch, die kürzere 1,01 m hoch. Berechne, wie viel Quadratmeter Holz insgesamt für die Produktion des Stehpultes benötigt wird. Schätze hierzu die fehlenden Längen.</p>	
---	--	---

Abb. A3: Aufgaben, die mit Reproduktion (L4-7er-AB3-Nr.8-Z1) und Transfer (L2-8er-AB6-Nr.5-M; aus Giersemehl et al., 2015, S. 79) unterschiedliche kognitive Prozesse erfordern.

Eine Aufgabe erfordert in ihrem Lösungsprozess eine Transferleistung, wenn die Problemsituation von den bereits geübten Aufgaben abweicht (Abb. A3, L2-8er-AB6-Nr.5-M). Die Transferleistung und damit die Komplexität der kognitiven Prozesse hängt davon ab, in wieweit das zur Lösung erforderliche Wissen in der Aufgabenstellung vorgegeben wird, was Maier et al. als „Differenz zwischen Aufgaben- und Lernsituation“ beschreiben (Maier et al., 2010, S. 87); in der Aufgabe L2-8er-AB6-Nr.5-M (Abb. A3) wird dies durch die fehlenden Längenmaße der oberen Fläche verankert; der Hinweis auf das Messen/Schätzen deutet zugleich darauf hin, welches Wissen dabei zur Anwendung kommen soll (Rückgriff auf das Inhaltsfeld der Längen und deren weitere Verarbeitung bei der Oberflächenberechnung des Stehpultes). Damit zeigt sich, dass das Wissen dieser Kategorie-Ausprägung in der benötigten Form bereits vorhanden bzw. abrufbar ist, in der es zur Anwendung kommen soll. Die verankerte Denk- wie auch Handlungsvorgabe ist dabei recht genau, so dass die Transferleistung hier folglich eher als geringfügig eingestuft werden kann. Die Kategorieausprägung Problemlösen geht in wesentlichen Teilen auf Neubrand (2002) zurück und lässt sich nach Maier et al. (2010, S. 87) von den Anforderungen der voranegangenen Ausprägung dadurch abgrenzen, dass das zur Aufgabenlösung erforderliche Wissen, nicht wie bei der Reproduktion sowie dem Transfer bereits abrufbarer Form vorhanden ist. Hier sind vielmehr Aufgaben zu subsumieren, deren Lösung die Schaffung neuen Wissens bedingt. Dabei müssen Lösungsideen und Verfahren in zuvor nicht geübter Weise entwickelt und kombiniert werden (bezogen auf den Kernlehrplan NRW). Dadurch, dass die erforderlichen Wissensseinheiten nicht explizit erwähnt werden, müssen sie vom Lernenden aus dem Aufgabenkontext selbstständig erschlossen werden. Der Prozess der Ansatzfindung erfordert dabei zumeist bestimmte Problemlöseheuristiken.

Repräsentationsformen des Wissens (IV.)

Das Wissen kann nach Edelman (2000) unterschiedlich codiert bzw. repräsentiert sein (modes of representation). Kompetenzgenerierung und damit auch kognitive Entwicklung kann dabei durch den Umfang des Umgangs mit Darstellungsformen (z. B. Tabelle, Graph, Diagramm oder Text) gefördert werden. Die kognitive Komplexität dieses Transfers wird im Wesentlichen dadurch bestimmt, inwieweit die vorfindbaren Repräsentationen im Lösungsprozess verarbeitet werden sollen. Auf der niedrigsten Stufe kann sich das zur Lösung erforderliche Wissen auf eine Repräsentationsform beschränken (beispielsweise eine vorgegebene Gleichung); darüber hinaus können auf dieser Stufe die aus einer Repräsentationsform entnommenen Informationen auch dazu verwendet werden, eine andere, auch vorgegebene, Standard-Darstellungsform anzufertigen (Text \rightarrow Term oder Funktionsgleichung \rightarrow Graph). Hierzu gehört beispielsweise die Aufgabe L8-7er-AB4-Nr.2a-M (s. Abb. A4). Zu beachten ist hierbei, dass in der dazugehörigen Abbildung (zwei Würfel) keine ergänzenden Informationen enthalten sind, die zur Lösung verwendet werden müssen. Im Unterschied dazu wird das zur Lösung erforderliche Wissen auf der mittleren Stufe aus mehreren Darstellungsformen integriert. Hierbei müssen Zusammenhänge zwischen den Darstellungen hergestellt werden, die durch einen Darstellungswechsel und damit zusammenhängende Übersetzungsprozesse erreicht werden (Abb. A4, L8-7er-AB4-Nr.3a-M). Gerade dies unterscheidet Aufgabe L8-7er-AB4-Nr.2a-M und L8-7er-AB4-Nr.3a-M voneinander (s. ebd.), denn die bildhaften Darstellungen der Würfel in Aufgabe L8-7er-AB4-Nr.2a-M erhalten im Gegensatz zu den Ziffernkarten aus Aufgaben L8-7er-AB4-Nr.3a-M kein integrierbares Wissen, das über das des Textes hinaus geht.

Auf der höchsten Stufe, der der Transformation, muss das Wissen in eine nicht vorgegebene Darstellungsform überführt werden (Abb. A4, Aufgabe 1). Hierzu muss eine adäquate Darstellungsform ausgewählt (unpassende Darstellungen dagegen als solche erkannt werden) oder auch weiterentwickelt werden (beispielsweise bezüglich der Achsenskalierung bei einem Graphen).

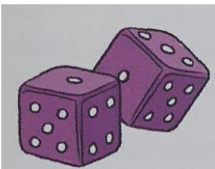

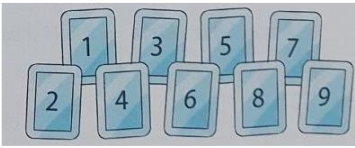
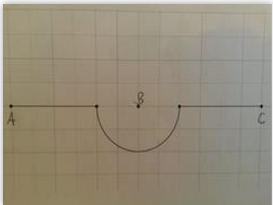
<p>L8-7er-AB4-Nr.2a-M Gib die möglichen Ausgänge zu den folgenden Zufallsexperimenten an. Augensumme beim gleichzeitigen Werfen mit zwei Spielwürfeln.</p>  <p>Würfel mit einem Würfel mit acht gleich großen Flächen (Ziffern 1 bis 8).</p> 	<p>L8-7er-AB4-Nr.3a-M Noah legt die Ziffernkärtchen verdeckt auf den Tisch. Jana zieht nacheinander zwei diese Kärtchen und bildet aus ihnen zweistellige Zahlen. Gib die möglichen Quersummenwerte sowie die Menge aller möglichen Quersummenwerte an.</p> 	<p>Aufgabe 1 Julian fährt auf seiner täglichen Strecke von zu Hause zur Schule durch einen Kreisverkehr. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dieser Fahrstrecke. Seine Geschwindigkeit bleibt hier konstant. Stelle die Entfernung Julians zum Punkt B während der Fahrzeit sinnvoll dar?</p> 
--	--	--

Abb. A4: Aufgabe der niedrigen (L8-7er-AB4-Nr.2a-M), mittleren (L8-7er-AB4-Nr.3a-M) und hohen Ausprägung (Aufgabe 1: Scheja & Rott (im Review) – hier ergänzt, da in der Stichprobe keine Aufgabe dieser Ausprägung vorhanden ist) der Kategorie Repräsentationsformen des Wissens.

Anzahl der geforderten Lösungswege (V.)

Ein weiteres Merkmal, das in dieser Studie untersucht wird, ist der in der Aufgabe aufgespannte „Lösungsraum“ (Jordan et al., 2008, S. 90), d. h. die Erfassung der Frage, in welchem Maße die Aufgabe auf unterschiedlichen Wegen gelöst werden soll. Die Wirksamkeit einer Auseinandersetzung mit dem Problem aus verschiedenen Perspektiven kann dabei theoretisch (Cognitiv Flexibility Theory (CFT); Cognitive Apprenticeship (CA)) begründet werden (vgl. Schukaljaw & Krawitz, 2020). Zu den erwarteten Effekten einer Auseinandersetzung mit multiplen Lösungen zählen beispielsweise die Steigerung der Denkflexibilisierung, eine stärkere Wissensvernetzung oder auch die Ausbildung eines tieferen Verständnisses für den Unterrichtsgegenstand (Levav-Waynberg & Leikin, 2012)

In Anlehnung an Neubrand et al. (2011, S. 123) wird hier zwischen *keinem* (Abb. A1, L5-5er-AB3-Nr.1-Z1 und L1-8er-AB2-Nr.1-Z1), *einem* (Abb. A5, L7-9er-AB4-Nr.12-M) oder *mehreren explizit eingeforderten Lösungsweegen* unterschieden (ebd., L6-9er-AB4-Nr.4c-Z2).

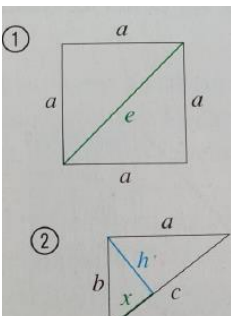
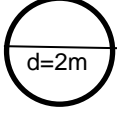
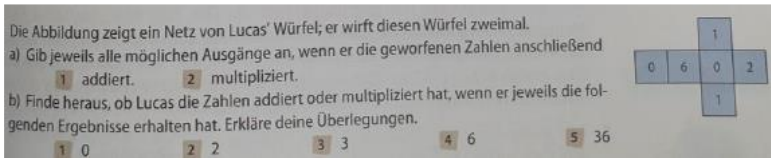
<p>L7-9er-AB4-Nr.12-M Suche rechtwinklige Dreiecke und schreibe jeweils alle Gleichungen auf, die sich mit den gegebenen Bezeichnungen nach dem Satz des Pythagoras ergeben.</p>		<p>L6-9er-AB4-Nr.4c-Z2 Aus einem Würfel mit einem Volumen von 27 cm³ wurde ein Würfel mit der Kantenlänge von 1 cm entfernt. Gib mehrere Möglichkeiten der Lage des kleinen Würfels im größeren Würfel an, bei denen sich die Oberfläche des großen Würfels nach der Entnahme</p> <p>a) nicht verändert. b) vergrößert.</p>
---	---	---

Abb. A5: Aufgaben mit einer (L7-9er-AB4-Nr.12-M) oder mehreren eingeforderten Lösungen (L6-9er-AB4-Nr.4c-Z2)

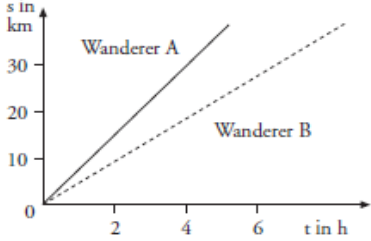
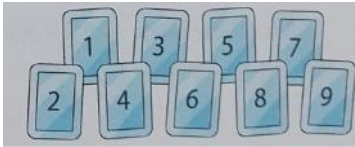
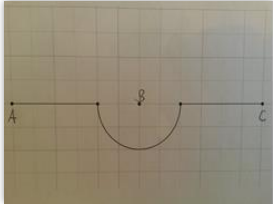
Kodierungskatalog

Im Folgenden werden die Operationalisierungen der Kategorieausprägungen aufgezeigt.

Kategorie	Ausprägungen
<p>I. Typ mathematischen Arbeitens</p>	<p>1 Technische Aufgabe: Keine Kontextanbindung und damit keine Mathematisierung/innermathematische Strukturierung notwendig; Abrufe von Fertigkeiten (z. B. eines Algorithmus) oder von Wissen.</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wie lautet die Lösung der Gleichung $2x - 6 = 0$ - Berechne den Umfang des Kreises mit $d = 2m$ - Berechne das Volumen einer quadratischen  <p>Pyramide mit einer Grundfläche von 16 cm^2 und einer Körperhöhe von 10 cm.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berechne den Wert des Terms $5x^2 + x(5+x)$ für $x=0,5$. <p><i>Jedoch nicht:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - „Wo schneidet der Graph der Funktion f mit $f(x) = -2x - 6$ die x-Achse?“ Hier bedarf es eines Rückgriffs auf eine Vorstellung zum Funktionsbegriff ($f(x)=0$) und die anschließende Lösung der Gleichung. Es handelt sich folglich um eine prozedurale Aufgabe.
	<p>2 Prozedurale Modellierungs-Aufgabe: Das prozedural-algorithmische Denken dominiert im Lösungsprozess; kann sowohl im inner- als auch im außermathematischen Kontext eingebettet sein. Damit werden Modellierungen (innermathematischer Kontext) bzw. Mathematisierungen (außermathematischer Kontext) notwendig.</p> <p>Beispiele (innermath. und außermath. Kontext):</p> <ul style="list-style-type: none"> - „Berechne das Volumen einer quadratischen Pyramide mit Grundfläche von 16 cm^2. Jede der übrigen Kanten misst 5 cm.“ Die Volumenformel ist nicht direkt anwendbar. Hierzu müssen einige Übersetzungsleistungen erbracht werden (Zuordnung Kante \rightarrow Länge sowie Ansatz und Berechnung der Körperhöhe) - „Ein Bauherr kauft ein Grundstück von 300 m Länge und 110 m Breite. Vorher wurde ihm ein anderes flächengleiches Grundstück von 140 m Breite angeboten. Wie lang war dieses Grundstück?“ Es müssen Mathematisierungen (Flächeninhaltsformel eines Rechtecks anwenden, das Ergebnis weiter mathematisch „verarbeiten“) vorgenommen werden.
	<p>3 Konzeptuelle Modellierungs-Aufgabe: Das begriffliche/konzeptuelle Denken dominiert den Verarbeitungsprozess; dabei werden Verbindungen und Verknüpfungen zwischen Begriffen/Informationen hergestellt oder untersucht; kann sowohl im inner- als auch im außermathematischen Kontext eingebettet sein.</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - „Zwei Freunde diskutieren zu der Frage: ‚Was passiert, wenn ich zu 500 Euro immer wieder einen festen Prozentsatz dazurechne und dann von diesem Gesamtbetrag den gleichen festen Prozentsatz abziehe?‘ Schalte dich mit Begründungen in die Diskussion ein.“ <p>Aufgabe mit eher außermathematischem Kontext. Dieser zeigt auf, dass sich ein Geldbetrag zunächst um einen festen Prozentsatz erhöht. Der zugehörige Geldbetrag bildet zusammen mit den 500 € einen „neuen Grundbetrag“. Hier eröffnen sich zugleich reichhaltige mathematische Fragen, da der Prozentsatz zwar festgelegt ist, der Grundwert jedoch immer wieder eine Veränderung erfährt. Hierbei geht es also nicht um die Anwendung einer Prozedur, die ein Ergebnis liefert und deren Rückübersetzung.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wie kannst du einen Geldbetrag von 48 Cent legen, wenn du nur 50ct, 20ct, 5ct und 2ct zur Verfügung hast? Gib alle Möglichkeiten an. - Wie verändert sich das Volumen einer Kugel, wenn man den Radius verdoppelt, vervierfacht, versechsfacht...? Untersuche die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen.

Kategorie	Ausprägungen
II. Argumentation	<p>1 Keine: Die Angabe einer Argumentation wird nicht gefordert.</p> <p>Beispiel:</p> <p>Bestimme die Lösung der Gleichung $y = x^2 - 2$ auf zwei verschiedene Arten.</p>
	<p>2 Einfache Argumentationen: Wiedergabe von Standardargumentationen sowie Argumentationen, für die das Alltagswissen genügt. Dies zeigt sich zumeist in der Einschrittigkeit der Argumente oder auch daran, dass eine rein rechnerische Argumentation eingefordert wird.</p> <p>Beispiel: Aufgabe L8-7er-AB4-Nr.4b-M</p>  <p>Ein Zahlenwert, der ein Produkt oder eine Summe sein kann, wird im außermath. Kontext vorgegeben. Zu diesem Resultat der Modellierung werden geeignete Zahlenpaare, der vorgegebenen Zahlen auf dem Netz gesucht und miteinander kombiniert. Die passenden Zahlenpaare werden schließlich bei der Argumentation angeführt.</p>
	<p>3 Mehrschrittige und komplexe A.: mindestens die Entwicklung und – falls gefordert – das Nachvollziehen mehrschrittiger, auch begrifflich geprägter mathematischer Argumente</p>

Kategorie	Ausprägungen
III. Kognitive Prozesse	<p>1 Reproduktion: Lösungen sind zumeist eine „Erinnerungsleistung“. Dies sind einschrittige Rechenaufgaben, die mit Standardverfahren (z. B. Dreisatz, Volumenberechnung etc.) gelöst werden können. Routineaufgaben, die mit großer Wahrscheinlichkeit schon mehrfach bearbeitet wurden (höchstens mit anderen Zahlen, z. B. aus Schulbüchern)</p>
	<p>2 Transfer: Die Problemsituation weicht von den bereits geübten Aufgaben ab. Die Transferleistung und damit die Komplexität der kognitiven Prozesse hängt davon ab, inwieweit das zur Lösung erforderliche Wissen in der Aufgabenstellung vorgegeben wird. Dieses Wissen kann hier gänzlich vorgegeben sein. Falls nicht, so muss das notwendige Wissen nach erforderlichen Regeln oder Strategien durchsucht werden.</p>
	<p>3 Problemlösen: Das zur Aufgabenlösung erforderliche Wissen ist nicht in abrufbarer Form vorhanden. Die Lösung bedingt die Schaffung neuen Wissens. Dabei müssen Lösungsideen und Verfahren in zuvor nicht geübter Weise entwickelt und kombiniert werden. Dadurch, dass die erforderlichen Wissensseinheiten nicht explizit erwähnt werden, müssen sie aus dem Aufgabenkontext selbstständig erschlossen werden. Der Prozess der Ansatzfindung erfordert zumeist Problemlöseheuristiken.</p>

Kategorie	Ausprägungen								
<p>IV. Repräsentationsformen des Wissens</p>	<p>1 Eine: Das zur Lösung erforderliche Wissen beschränkt sich auf eine Repräsentationsform. Die dabei entnommenen Informationen können hier auch dazu verwendet werden, eine andere vorgegebene Darstellungsform anzufertigen.</p> <p>Beispiele: Aufgabe L1-7er-AB1-Nr.6a-Z1</p> <p>Zwei Personen A und B wandern von Obersheim über Mittersbach nach Untersdorf. Die beiden Graphen stellen den zurückgelegten Weg in Abhängigkeit von der Zeit für die Wanderer A und B dar.</p>  <p>Wie viel später kommt Wanderer B im 30 km von Obersheim entfernten Mittersbach an als Wanderer A? Kreuze an.</p> <p><input type="checkbox"/> 6 h <input type="checkbox"/> 60 min <input type="checkbox"/> 120 min</p> <p>Diese Aufgabe ist nur mit Hilfe der Vorgaben im Koordinatensystem lösbar, der Text enthält keine relevanten Informationen.</p> <p>Grenzfall: Vervollständige die Wertetabelle der proportionalen Zuordnung</p> <table border="1" data-bbox="375 891 1145 958"> <tr> <td>x</td> <td>-1</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>y=5x</td> <td></td> <td></td> <td>-10</td> </tr> </table> <p>Hierbei wird eine unvollständig ausgefüllte Wertetabelle mit einer Gleichung vorgegeben. Die vorgegebene Darstellungsform ist hier also die Gleichung (1. Darstellungsform) sowie festgelegte x- oder y-Werte in der Wertetabelle (2. Darstellungsform). Auf der Grundlage der Werte aus der 2. Darstellungsform wird dann <i>innerhalb</i> der zweiten Darstellungsform gearbeitet. Es handelt sich dabei also weniger um eine Integration der Darstellungsformen als eher um eine Überführung in eine andere Darstellungsform.</p>	x	-1	5		y=5x			-10
x	-1	5							
y=5x			-10						
	<p>2 Integration: Das zur Lösung erforderliche Wissen wird aus mehreren Darstellungsformen integriert (Text, Tabelle, Zeichnung, Graph). Hierbei müssen Zusammenhänge zwischen den Darstellungen hergestellt werden, die durch einen Darstellungswechsel und damit zusammenhängende Übersetzungsprozesse erreicht werden.</p> <p>Aufgabe: L8-7er-AB4-Nr.3a-M</p> <p>Noah legt die Ziffernkärtchen verdeckt auf den Tisch. Jana zieht nacheinander zwei diese Kärtchen und bildet aus ihnen zweistellige Zahlen.</p>  <p>Gib die möglichen Quersummenwerte sowie die Menge aller möglichen Quersummenwerte an.</p> <p>Hierbei werden zur Lösung beide Darstellungsformen benötigt, das heißt, die Informationen aus dem Text und der Abbildung.</p>								
	<p>3 Transformation: Das vorgegebene Wissen muss in eine nicht vorgegebene Darstellungsform überführt werden.</p> <p>Beispiel:</p> <p>Ein Fahrradfahrer fährt auf seiner täglichen Strecke von zu Hause zur Arbeit durch einen Kreisverkehr. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dieser Fahrstrecke. Seine Geschwindigkeit bleibt hier konstant. Stelle die Entfernung des Radfahrers zum Punkt B während der Fahrzeit sinnvoll dar (Scheja & Rott, im Review).</p> 								

Kategorie	Ausprägungen
V. Anzahl der geforderten Lösungswege	<p>1 Kein Lösungsweg: In der Aufgabenstellung wird kein Lösungsweg eingefordert.</p> <p>Beispiele:</p> <p>Aufgabe L3-5er-AB3-Nr.4-Z1</p> <p>Kreuze die richtigen Aussagen an.</p> <p>a) Jeder Quader ist ein Würfel. b) Jeder Würfel ist ein Quader. c) Jedes Quadrat ist ein Rechteck. d) Jedes Prisma ist ein Würfel. e) Jeder Quader ist ein Prisma. f) Jedes Prisma besitzt acht Flächen</p>
	<p>2 Ein Lösungsweg: Es wird ein bestimmter Lösungsweg/Methode eingefordert.</p> <p>Beispiele: L7-9er-AB4-Nr.12-M</p> <p>Suche rechtwinklige Dreiecke und schreibe jeweils alle Gleichungen auf, die sich mit den gegebenen Bezeichnungen nach dem Satz des Pythagoras ergeben.</p> <div data-bbox="1125 656 1358 981" style="text-align: right;"> </div> <p>Die Formulierung des Satzes von Pythagoras unter den gegebenen Voraussetzungen wird vorgegeben.</p> <p>Löse die quadratische Gleichung mit der pq-Formel: $2x^2 - 4x - 1 = 0$</p>
	<p>3 Mehrere Lösungswege: Es können sowohl mehrere Methoden als auch mehrere Lösungswege eingefordert werden.</p>