

Bildung für nachhaltige Entwicklung im Mathematikunterricht

Potentiale und Herausforderungen für die Mathematikdidaktik

Hans-Stefan Siller und Katrin Vorhölter

„Die Welt im Dauerstress“, „Immer nur Krise, Krise, Krise“, „Star-Investor warnt vor globaler Polykrise: Fünf Faktoren gefährden die Weltwirtschaft“ lauten die Schlagzeilen von Tageschau, Zeit online oder Focus zu den sich häufenden globalen Ereignissen wie extreme Wetterbedingungen, Konflikte und Kriege, Krankheiten, Hunger oder Wirtschaftskrisen. Diese stellen uns aktuell gesellschaftlich – auch im Bildungskontext – vor zahlreiche Herausforderungen, und die Frage ist, wie wir mit diesen umgehen, ihnen begegnen und bestenfalls sie bewältigen können.

Eine Antwort des Bildungssektors der UNESCO, um der Bewältigung disruptiver Ereignisse zu begegnen, wird als Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) bezeichnet und geht auf den Weltkongress für Bildung und Kommunikation über Umwelt und Entwicklung im Jahr 1992 zurück. Hier unterstreicht die im Juni 2024 erschienene Neuauflage der eigenständigen Empfehlung der Kultusministerkonferenz zu „Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule“ (KMK, 2024) auch für den deutschsprachigen Raum die international anhaltende Forderung nach einer Umsetzung von BNE im schulischen Kontext (Hallinger & Nguyen, 2020; UN General Assembly, 2015; UNESCO, 2020). Es gilt Lernende in die Lage zu versetzen, zugrundeliegende komplexe Zusammenhänge verschiedener Einflussfaktoren und deren Auswirkungen wahrzunehmen und zu analysieren, um ein Verständnis globaler Herausforderungen zu fördern (KMK/BMZ, 2007). Dabei werden die Beschaffung, Einordnung und Verarbeitung von Informationen immer relevanter. Insbesondere ist die Fähigkeit, Aussagen kritisch zu hinterfragen und einzuordnen, notwendig. Hierfür bedarf es der Beteiligung und Integration verschiedener Fachdisziplinen.

Erste Ansätze, wie Mathematik zur kritischen Bildung beitragen kann, reichen bis in die frühen 1970er Jahre zurück. In der deutschsprachigen Mathematikdidaktik haben sich u. a. Christine Keitel und Dieter Volk frühzeitig damit auseinandergesetzt (Skovsmose, 2020). Die Weiterentwicklung hinsichtlich eines zukunftsfähigen Mathematikunterrichts wurde auch von vielen Persönlichkeiten immer wieder eingefordert:

Für die Welt von heute und morgen ist die Komplexität vieler Probleme ein besonderes Kennzeichen. Insbesondere die sogenannten *Schlüsselprobleme* der Menschheit wie etwa *Bevölkerung* (einschließlich der gesellschaftlich produzierten Ungleichheiten und den daraus resultierenden Wanderungsbewegungen), *Friedenssicherung*, *Ökologie und Ökonomie* (einschließlich der Ressourcen- und Energieproblematik) sind in diesem Zusammenhang zu nennen. (Graumann, 1994, S. 3, Hervorhebungen im Original)

Dies kann und sollte auch dazu führen, dass das Fach und seine Bedeutung positiv(er) in der Gesellschaft wahrgenommen wird, und erkannt wird,

daß mathematisches Denken einen spezifischen Zugang gibt, sich nicht durch andere Fächer ersetzen oder substituieren läßt. Im Gegenteil wird ein Ziel des Mathematikunterrichts sein, die Spezifik dieses Zugangs und seiner Grenzen Schülerinnen und Schüler erfahren und erkennen zu lassen. (Jahnke, 1995, S. 325)

Zentrales Ziel bei der Berücksichtigung von Themen der Nachhaltigkeit im Mathematikunterricht ist darin zu sehen, dass Schülerinnen und Schüler bei der Entwicklung zu mündigen Bürgerinnen und Bürger unterstützt werden, damit sie nachhaltige Entwicklung in der Gesellschaft konstruktiv gestalten und reflektiert Stellung nehmen können. Dafür gilt es insbesondere auch Lehrkräfte zu befähigen, Herausforderungen nachhaltiger Entwicklung für den Mathematikunterricht zu identifizieren und Konsequenzen davon im Schulunterricht zu realisieren.

Die aktuelle Forderung der KMK, Bildung für nachhaltige Entwicklung in alle Fächer zu integrieren, bietet für die Didaktik der Mathematik die Chance, sich erneut die Frage(n) zu stellen, (1) was ein heutiger Mathematikunterricht beinhalten sollte, um die Schülerinnen und Schüler bestmöglich auf die Welt von Morgen vorzubereiten, i.e. was der Mathematikunterricht zu einer BNE beitragen kann und sollte, und (2) inwiefern sich der Mathematikunterricht daher verändern

muss. Die zweite Frage ist insbesondere deswegen brisant, als dass zwar in den meisten Bundesländern BNE als Querschnittsaufgabe für die Schulfächer implementiert ist (KMK, 2023), aber in vielen Bundesländern mathematikspezifische Ausdifferenzierungen fehlen. Als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, welche das Lehren und Lernen von Mathematik beforschen, müssen wir uns somit fragen, welcher Zusammenhang zwischen Mathematik und BNE besteht und inwiefern die Integration von BNE in den Mathematikunterricht eine sinnhafte Neuorientierung bewirken kann. Eine erste Antwort geben Li und Tsai (2021, S. 2537):

ESD in mathematics education calls for a new key concept for thinking and acting about how we can reorient mathematics toward environmentally and socially conscious thinking to engage the younger generations in ethical action for a better future. This new concept must push back the boundaries of the traditional philosophy of mathematics and accommodate the power of mathematical applications in guiding human lives and the social world [...].

Mathematik ist – wenn auch nicht immer offensichtlich – häufig Grundlage vieler Modelle und damit wesentlich für Entscheidungsprozesse, Meinungsbildungen und Handlungen im Kontext von BNE (Barwell, 2018; Skovsmose, 2023). Daher bilden mathematisches Wissen und Fähigkeiten einen Grundbaustein, um globale wie lokale Probleme verstehen und damit umgehen zu können (z. B. Lafuente-Lechuga et al., 2024; Skovsmose, 2023). Hierbei ist weder die rein innermathematische Betrachtung noch die Anwendung mathematischer Verfahren in offensichtlichen Kontexten, z. B. bei der Analyse von Daten, ausreichend. Es ist notwendig Lernende zu befähigen, wesentliche mathematische Inhalte und Konzepte, die auf den ersten Blick verborgen scheinen, im Sachkontext zu erkennen, reflektiert einzusetzen und zu bewerten. Denn ein unreflektierter Einsatz oder eine unkritische Akzeptanz mathematischer Konzepte birgt die Gefahr, dass Ergebnisse fehlinterpretiert bzw. die Einschränkungen nicht erkannt, und so falschen Schlussfolgerungen gezogen werden. Dies ist insbesondere im Bereich von Desinformationen wichtig, um beispielsweise den Missbrauch von mathematischen Argumenten von Klimaleugnerinnen bzw. -leugnern zu identifizieren (Barwell & Hauge, 2021). Gleichzeitig kann eine reflektierte Anwendung zu einem tieferen Verständnis sowohl des BNE-Kontextes wie auch der mathematischen Inhalte und Konzepte beitragen (z. B. Anwar, Juandi, & Ningsih 2020; Siller et al., 2024). Daher besteht die Notwendigkeit, den Stellenwert von Mathematik im Kontext der BNE ge-

nauer zu beleuchten und ihre Bedeutung herauszustellen.

Hierdurch wird wiederum die Notwendigkeit offensichtlich, aus der Community der Mathematikdidaktik stoffdidaktisch fundierte Implementierungen von Lernumgebungen aber auch einzelnen Aufgaben zu realisieren sowie empirisch fundierte Forschung durchzuführen. Um dies zu leisten, ist es notwendig sich zu vergegenwärtigen, welche evidenzbasierten Erkenntnisse bislang bezogen auf Schülerkompetenzen, Lehrkräftekompetenzen und hochwertigem Unterrichtsmaterial vorliegen. Daher werden wir in diesem Beitrag auf diese drei Bereiche eingehen, Herausforderungen für die Mathematikdidaktik identifizieren und Potentiale für einen zukünftigen Mathematikunterricht herausstellen.

BNE für Schülerinnen und Schüler

Schülerinnen und Schüler sind heute mit multiplen sozialen, ökonomischen und politischen Krisen auf der Welt konfrontiert und werden dies auch in Zukunft sein. Hier können Lehrkräfte durch die Vermittlung von Wissen, (Handlungs-)Fähigkeiten und Werten (UNESCO, 2017) in ihrem Mathematikunterricht Unterstützung bieten, um mit diesen Krisen umzugehen. Im Zentrum steht dabei das Ziel, die Lernenden zum Erkennen, Bewerten und Handeln in einer komplexen Welt zu befähigen (Siller et al., 2025b).

Durch das Abwägen verschiedener (mathematischer) Argumente sollen Schülerinnen und Schüler lernen, Situationen kritisch zu beurteilen (Siller et al., 2024). Dies soll sie befähigen, fundierte, evidenzbasierte Entscheidungen bezüglich Themen der Nachhaltigkeit zu treffen, welche sich in der Fähigkeit und dem Willen zu aktivem Handeln äußern – auch über den Unterricht hinaus. Ziel ist es, dass Schülerinnen und Schüler mit ihrem (mathematischen) Wissen und ihren (mathematischen) Fähigkeiten in der Lage sind, an gesellschaftlichen Diskussionen aktiv zu partizipieren und dabei Emotionen und gefühlten Zusammenhängen sachliche Argumente (z. B. auf Basis mathematischer und statistischer Überlegungen) entgegenzustellen. Auf diese Weise können sie langfristig zu einer Veränderung der – für eine Demokratie essenziellen – Diskussionskultur beitragen. Die kritische mathematische Betrachtung von Themen der nachhaltigen Entwicklung sowie eine unterrichtliche Reflexion darüber kann dazu beitragen, im Unterricht nicht nur die Komplexität und Dringlichkeit von Problemen der Nachhaltigkeit bewusst zu machen, sondern auch Ziele und Visionen des Mathematikunterrichts zu überdenken, wie dies z. B. Li & Tsai (2021, S. 2534) fordern:

It is evident that there is a difference in goal orientation between ESD and ‘teaching to the test’ in mathematics education. This difference invites us to rethink what the goals of, and the vision for, mathematics education should be in the twenty-first century.

Die gewonnenen Einsichten bei der Bearbeitung von Problemen der Nachhaltigkeit können Anstoß für eine Veränderung des eigenen Verhaltens sowie einen aktiven Einsatz für gesellschaftlichen und politischen Wandel sein. Dafür sollten Lernende Fähig- und Fertigkeiten erwerben, Maßnahmen kritisch zu beleuchten und auf Basis von Daten deren Effektivität zu beurteilen.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten für eine BNE im domänenorientierten Fachunterricht. Im Folgenden fokussieren wir auf den von der Kultusministerkonferenz (KMK) und dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) in Auftrag gegebenen Orientierungsrahmen Globale Entwicklung. In diesem werden elf Kernkompetenzen genannt, die normativ gesetzt und fachübergreifend realisiert werden sollen und die jeweils von fachspezifischen, theoretisch angebundenen Realisierungen für die Sekundarstufe I (Reiss et al., 2016) bzw. die Sekundarstufe II (Siller et al., 2025b) ergänzt werden. Die erfolgten fachspezifischen Ableitungen stellen lediglich Indikatoren für die jeweiligen aufgeführten BNE-Kernkompetenzen dar, die es empirisch zu fundieren gilt. Erste evidenzbasierte Analysen, z. B. ob eine Trennung in den Kernkompetenzen auf Basis der theoretischen Überlegungen möglich ist, sind bereits publiziert (Siller et al., 2025a) bedürfen aber nun einer Skalierung, um die notwendige Verallgemeinerung zu bestätigen. Eine solche Fundierung sowie erste Überprüfungen stellen eine notwendige Voraussetzung für die Entwicklung von Messinstrumenten dar, die wiederum eine Voraussetzung für eine evidenzbasierte Entwicklung von Unterrichtsmaterial sind.

Der Erwerb von fachspezifischen BNE-Kernkompetenzen erfordert fundiertes mathematisches Wissen und zugehörige Fähigkeiten. Die Notwendigkeit mathematischer Verfahren für den Erwerb fachspezifischer BNE-Kernkompetenzen ist sowohl in der Konzeption für die Sekundarstufe I (Reiss et al., 2016) als auch Sekundarstufe II (Siller et al., 2025b) konstruktiv aufgegriffen und ermöglicht eine integrative curriculare Einbindung der Kernkompetenzen. Die Kompetenzen „Globale BNE-Kontexte als Individuum mithilfe der curricular zur Verfügung stehenden mathematischen Mittel begreifen und daraus folgende Konsequenzen in damit einhergehenden mathematischen Fragestellungen reflektieren“ sowie „Konzepte und Verfahren

der Mathematik als Werkzeuge im individuellen, gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext interdisziplinär und im Umgang mit Aussagen von Expertinnen und Experten sachkundig anwenden“ (Siller et al., 2025b) bringen direkt zum Ausdruck, dass mathematische Mittel ein grundlegendes Werkzeug für den Erwerb dieser Kompetenz sind. Entsprechend setzen diese Anforderungen für Lernende keine zusätzlichen mathematischen Fachinhalte voraus, sondern können als motivationsfördernde und sinngebende Ausführungen in den Fachunterricht integriert werden. Dies zeigt auch die Kompetenz „grafische Darstellungen und Tabellen mit Daten zu globalen Fragen verstehen und auswerten“ (Reiss et al., 2016, S. 303) auf: Die Lernenden sollen den curricular erforderten verständigen Umgang mit Daten in unterschiedlichen Repräsentationen im Kontext der nachhaltigen Entwicklung anwenden. Denn „[e]rst auf der Basis hinreichend verstandener Mathematik können Schüler erfahren, daß mathematische Begriffe und Techniken in vielen Situationen als ‚Verstärker‘ ihres Alltagsdenkens taugen.“ (Heymann, 1996, S. 547). Die Anwendung mathematischer Verfahren in sinnstiftenden Kontexten kann durch die reflektierte Anwendung darüber hinaus zu einem vertieften Verständnis dieser Verfahren führen und einer rein kalküllastigen, eher unreflektierten Anwendung entgegenwirken. Darüber hinaus wird ein solches Vorgehen auch durch die Berücksichtigung der beiden Grunderfahrungen (G1) und (G3) nach Winter (1995) nicht nur legitimiert, sondern geradezu gefordert. Damit ist auch eine Anbindung an die jeweiligen Ländercurricula gegeben.

Professionalisierung von Lehrkräften

Damit insbesondere im Schulkontext die aufgezeigten (Lehr- und Lern-)Ziele erreicht werden, bedarf es an Lehrkräften, welche entsprechendes Wissen und nötige Fähigkeiten im Mathematikunterricht vermitteln wollen und können. Diese Vermittlung stellt jedoch eine komplexe Herausforderung für die Lehrkräfte dar. Die für die Implementation von BNE in den Mathematikunterricht benötigten Kompetenzen beinhalten sowohl Wissen und Fähigkeiten zur BNE als auch ein vertieftes mathematisches Wissen und entsprechende Fähig- und Fertigkeiten. Um BNE in den Mathematikunterricht zu implementieren, müssen Lehrkräfte somit Wissen zu den jeweiligen Kontexten verfügen. Darüber hinaus müssen sie einschätzen können, inwiefern die mathematischen Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler der jeweiligen Jahrgangsstufe ausreichend sind, um in den Kontexten sinnvolle, i. e. nicht unangemessene

ne, Vereinfachungen zu treffen, die zu intellektuell ehrlichen Resultaten führen.

Um eine Umsetzung von BNE im Mathematikunterricht zu unterstützen, sind alle drei Phasen der Lehrkräftebildung in unterschiedlicher Art und mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung zu berücksichtigen. Derzeit gibt es keine etablierten Konzepte – weder für die universitäre Lehrkräfteausbildung, noch für das Referendariat oder die Lehrkräftefortbildung. Der Überblick der KMK (2023) zur Fachkräfteausbildung macht deutlich, dass die Bundesländer hier sehr unterschiedliche Vorgehensweisen verfolgen. In der Regel wird dabei die BNE als Querschnittsaufgabe gesehen.

Für die Konzeption von Angeboten und Maßnahmen für die Lehrkräftebildung sind der instrumentelle und emanzipatorische Ansatz zu differenzieren, aber gleichermaßen zu berücksichtigen. Dabei steht im instrumentellen Ansatz, auch als Bildung für nachhaltige Entwicklung bezeichnet, die Vermittlung von Expert:innen-Wissen im Vordergrund, während der kritisch-emanzipatorische Ansatz die Bildung als nachhaltige Entwicklung und damit nicht als geschlossenen Expert:innen-Diskurs sieht, „sondern als ein offener gesellschaftlicher (Lern-)Prozess [. . .]. Leitend ist dabei die Erkenntnis, dass oft gar nicht sicher ist, welche Verhaltensweisen effektiv die nachhaltigeren sind.“ (Wals, 2011 in Rieckmann, 2021, S. 7). Darüber hinaus sollten Lehrkräfte auch den transformativen Ansatz bedienen können, der im Orientierungsrahmen Globale Entwicklung durch die Kernkompetenz des Handelns betont wird: Dieser Ansatz zielt nicht nur auf die Vermittlung von Wissen und Fähigkeiten zur Gestaltung einer lebenswerten Zukunft, sondern insbesondere darauf, das Denken, Handeln und Engagement der Lernenden im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu verändern. Damit wird eine zentrale Forderung, „das nötige (Fach-)Wissen, die notwendigen Gestaltungskompetenzen sowie die Grundlagen für Denk- und Handlungsweisen [zu] vermitteln, die unerlässlich sind, um das komplexe Thema der nachhaltigen Entwicklung in seinen vielfältigen Facetten zu verstehen“ (JMU, 2024, S. 5), erfüllt und einer zeitgemäßen Lehrkräfteprofessionalisierung wissenschaftsbasiert und kritisch-reflektierend Rechnung getragen. Dies muss sich in weiterer Folge für die Studienseminare und Lehrkräftefortbildungen weiterentwickeln.

Neben dem Wissen und den Fähigkeiten bedarf es auch der Überzeugung, dass Mathematik einen Beitrag zur BNE leisten kann und muss. Bei einer Umfrage unter Würzburger Lehramtsstudierenden (Sekundarstufe I–MS, RS, GYM; im März 2024; $n = 245$, Rücklauf ca. 11 % dieser Studierenden) zeigte sich, dass jede dritte Person keine Verbindung zwischen Mathematik und Nachhaltigkeit sieht. Ferner konn-

ten Wiegand und Borromeo Ferri (2023) drei verschiedene Typen (i. e. Reformier, Mathematiker, Weltverbesserer) von Lehramtsstudierenden in Bezug auf die Umsetzung von BNE im Mathematikunterricht rekonstruieren. Die Überzeugungen dieser unterschiedlichen Typen sollte bei der Konzeption von universitären Lehrveranstaltungen, der Arbeit in den Studienseminaren und Lehrkräftefortbildungen Beachtung geschenkt werden.

Konzeption von Unterrichtsmaterial

Das Bereitstellen von Unterrichtsmaterial stellt nicht nur eine Unterstützung für Lehrkräfte dar. Vielmehr dienen Beispielaufgaben auch der Qualitätssicherung, indem sie Kriterien für gute Aufgaben aufzeigen (Büchter & Leuders, 2009). Dies erscheint uns insbesondere im Rahmen der BNE von herausragender Bedeutung, da in diesem Umfeld (1) durchaus Unterrichtsmaterial bereitgestellt wird, das nicht immer den entsprechenden Ansprüchen einer guten Aufgabe für die Implementation von BNE in den Mathematikunterricht genügt, und (2) oftmals nur aus Selbstzweck – ohne fachdidaktische Fundierung – erstellt wurde und somit wesentliche Elemente eines Best-Practice-Ansatzes gar nicht erfüllen kann.

Ziel guter Aufgaben für den Mathematikunterricht, die gleichsam der Aufforderung einer BNE nachkommen, sollte sein, dass Schülerinnen und Schüler den Wert mathematischer Verfahren und Konzepte für Kontexte der BNE erkennen und erfahren, dass und wie sie diese Verfahren und Konzepte für die eigene Meinungsbildung und auch für die Argumentationen und Diskussionen mit anderen (konsequent) nutzen können. Hierzu gehören insbesondere auch ein Erwerb und eine sinnhafte Anwendung ebendieser Konzepte und Verfahren in unterschiedlichen Kontexten, so dass auch Einschränkungen und/oder Grenzen deutlich werden.

Die von der UNESCO/MGIEP (2017) für die Implementation von BNE in Mathematikbüchern zusammengefassten Kriterien reichen hierfür nicht aus, da sie den mathematischen Kompetenzerwerb nicht angemessen berücksichtigen, sondern ausschließlich den BNE-Kompetenzerwerb fokussieren. Auf diese Weise kann oben genanntes Ziel nicht ausreichend erreicht werden. Entsprechend müssen weitere Kriterien hinzukommen, die den mathematischen Kompetenzerwerb sowie den Nutzen von Mathematik für BNE-Kontexte explizit machen. Diese Forderungen und entsprechend abgeleitete Kriterien sind nicht neu, sondern finden sich bereits mehrfach in der Literatur. So fordern beispielsweise Blomhøj und Kjeldsen (2006) für qualitäts-

volle Modellierungsprobleme, dass solche Aufgaben unter anderem aufzeigen, dass die Verwendung mathematischer Verfahren und Konzepte neue Einsichten in die Problemlage bringt und dass sie die Schülerinnen und Schüler in angemessener Weise herausfordern, mit Methoden und Konzepten zu arbeiten, die für ihren mathematischen Lernprozess relevant sind:

It is a quality if the task [...]

- opens for interesting modelling results. Showing that mathematical modelling can add meaning to the situation and provide new insights into the problem. [...]
- challenge the students appropriately to work with concepts and methods that are relevant for their mathematical learning. (Blomhøj & Kjeldsen, 2006, S. 167)

Das Heranziehen von Kriterien für Modellierungsaufgaben (z. B. Wiegand (2024) für Modellierungsaufgaben im BNE-Kontext) ist keinesfalls ein Plädoyer dafür, dass nur solche Aufgaben im Rahmen einer BNE einen Kompetenzerwerb ermöglichen. Fakt ist aber, dass Aufgaben für eine BNE eine sachkontextuelle Einbettung benötigen, i. e. einen Kontext der nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Nachhaltigkeitsziele, und damit dem Sachrechnen zuzuordnen sind. Dieses kann im Sinne Winters (1994) unterschiedliche Funktionen verfolgen. So sollte neben dem Sachrechnen als Umwelterschließung, dem die oben angesprochenen Modellierungsprobleme zuzuordnen sind, ebenfalls das Sachrechnen als Lernstoff sowie als Lernprinzip anhand von Kontexten der BNE durchgeführt werden, wie z. B. in Wilhelm (2024).

Es bedarf entsprechend Aufgaben unterschiedlicher Komplexität, welche lange bestehende Forderungen bzw. Prinzipien der Mathematikdidaktik, z. B. eben die Umwelterschließung (Vollrath, 1983) in substanziellen Lernumgebungen (Wittmann, 2010), konstruktiv aufgreifen. Insbesondere sollen die Aufgabenkontexte so gewählt sein, dass sowohl mathematische Fähigkeiten erworben werden als auch mehr über den Sachkontext gelernt und die Bedeutung von Mathematik für BNE deutlich wird.

Herausforderungen für die Mathematikdidaktik

Die Integration von BNE in den Mathematikunterricht stellt nicht nur die schulischen Akteure (wie oben dargestellt), sondern auch uns als Mathematikdidaktikerinnen und Mathematikdidaktiker vor neue Herausforderungen. Um Studierende auf die Implementation von BNE in den Mathematikunterricht vorzubereiten,

Referendare auf ihren ersten Schritten in diesem Feld anzuleiten und Lehrkräfte entsprechend weiterzubilden, bedarf es an evidenzbasierten Konzepten, die auf der Grundlage empirischer Studien entwickelt und entsprechend implementiert werden. Auch wenn – oder gerade weil – die Praxis aufgefordert ist, BNE möglichst umgehend in den Unterricht zu implementieren, sollten wir nicht in einen Aktionismus oder gar Lobbyismus verfallen, sondern gemäß unserer Profession handeln. Hierzu nehmen wir im Folgenden die (oben erläuterte) Trias aus Lernenden, Lehrkräften und Unterrichtsmaterial in den Blick:

Lehrkräfte nehmen in der Bildung zukünftiger Generationen eine Schlüsselrolle ein, weshalb ihre Weiterbildung zentral für eine positive gesellschaftliche Entwicklung ist, insbesondere bei Themen der Nachhaltigkeit. Im Rahmen von Fortbildungen müssen Lehrkräfte durch Vermittlung sowohl *fachlicher* Grundlagen nachhaltiger Entwicklung (einschließlich der Rolle von Mathematik) als auch spezifischen *fachdidaktischen* Wissens befähigt werden, BNE im Mathematikunterricht umzusetzen. Hierfür sollten bestehende Konzepte verfeinert und inhaltlich ausgestaltet sowie die Umsetzung der Begleitforschung zur empirischen Evaluation der Lehrkräftefortbildung entwickelt werden. Neben der Weiterbildung praktizierender Lehrkräfte ist das Lehramtsstudium von besonderer Relevanz, da hier Studierende auf den Unterricht von Morgen vorbereitet werden. Die wenigsten Universitäten werden aufgrund der zur Verfügung stehenden Zeit didaktischer Angebote eigene fachspezifische Veranstaltungen oder gar Module für BNE implementieren können, sondern BNE wird querschnittlich in die Veranstaltungen zu integrieren sein. Hier sollte also u.a. den folgenden Fragen nachgegangen werden:

- Welche Änderungen in Bezug auf Einstellungen zur Integration von BNE in den Mathematikunterricht nehmen (angehende) Mathematiklehrkräfte nach dem Besuch von Lehrveranstaltungen (mit BNE-Bezug) und spezifischer BNE-bezogener Lehrkräftefortbildungen bei sich selbst wahr?
- Welchen Einfluss hat eine universitäre Lehrkräfteaus- und -fortbildung auf die Einstellung der (angehenden) Lehrkräfte zur fachdidaktischen Forschung sowie zur Zusammenarbeit zwischen Schule und Universität?

Zentrales Ziel bei der Berücksichtigung von Themen der Nachhaltigkeit im Mathematikunterricht ist es, Schülerinnen und Schüler zu befähigen, als mündige Bürgerinnen und Bürger reflektiert und fundiert Stellung zu nehmen und die Gesellschaft konstruktiv (mit) zu gestalten. Hierzu bedarf es sowohl dem Erwerb mathematischer Fertigkeit- und Fähigkeiten wie auch

der Fähigkeit, diese in Kontexten der BNE anzuwenden. Bezogen auf Schülerinnen und Schüler ist daher u. a. empirisch zu analysieren:

- Wie lassen sich BNE-Kompetenzen von Schülerinnen und Schüler fördern? Welche Rolle spielen hierbei die Kontexte und die Aufgabenstellungen?
- Inwiefern wird durch die Bearbeitung den Lernenden der Wert von Mathematik für Fragen der nachhaltigen Entwicklung deutlich?
- Inwiefern verändert die Bearbeitung BNE-spezifischer Mathematikaufgaben das Interesse, die Selbstwirksamkeit u. a. von Lernenden am bzw. im Unterrichtsfach Mathematik?

Für die Lehrkräfteaus- und -fortbildung sowie für die Umsetzung von BNE im Mathematikunterricht bedarf es wie dargestellt Aufgaben, die sowohl den fachlichen und BNE- Kompetenzerwerb fördern als auch den Nutzen von Mathematik für BNE verdeutlichen. Hierbei kann zunächst auf vorhandene Kriterien für gute Aufgaben zurückgegriffen werden. Es ist jedoch aus unserer Sicht sinnvoll, empirisch zu überprüfen:

- Welche Auswirkungen haben bestimmte Operatoren und Formulierungen in Aufgaben auf den fachlichen bzw. BNE-Kompetenzerwerb?
- Wie sollten Aufgaben formuliert sein, die insbesondere das Potential von Mathematik für eine BNE deutlich machen?

Bei allen Bestrebungen und Forschungen sollte darauf geachtet werden, dass das Potential der Mathematik für Themen der nachhaltigen Entwicklung im Fokus steht, denn es gilt, BNE im Fachunterricht zu implementieren - und nicht ein Unterrichtsfach BNE zu konzipieren.

Potential von BNE für die Mathematikdidaktik

Auch wenn die Implementation von BNE in den Mathematikunterricht eine Herausforderung für alle beteiligten Personengruppen, inklusive der Forschenden, darstellt, kann dies auch ein Potential für eine seit langer Zeit schon angemahnten Weiterentwicklung eines zukunftsfähigen Mathematikunterrichts gesehen werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte zumindest in Teilen über eine Neuorientierung der Inhalte des Mathematikunterrichts nachgedacht werden. Vor dem Hintergrund der disruptiven globalen Ereignisse, deren Bewertung und dem Umgang mit ihnen erhalten einige mathematische Konzepte eine (neue) Bedeutung. Hier einige Beispiele:

- Für das Verständnis der Entwicklungen der Coronapandemie und der von der Politik getroffenen Maß-

nahmen war es notwendig, ein Verständnis für exponentielles Wachstum zu haben (Engelbrecht et al., 2023) – einem Inhalt, der bis dato eher kalkülant in den Mathematikunterricht integriert und für die Schülerinnen und Schüler mit wenig sinnstiftenden Kontexten wie Algenwachstum belegt war.

- Für zahlreiche Probleme aus dem Kontext der nachhaltigen Entwicklung, beispielsweise dem Zusammenhang zwischen Temperaturanomalien und menschlichem Handeln (Just et al., 2023), ist die Differenzierung von Arten von Zusammenhängen essenziell. Mathematische Konzepte und insbesondere deren Unterschiede wie Korrelation, Kausalität und Regression werden in der Schule bislang in der Regel nicht oder nur qualitativ betrachtet; in den Bildungsstandards werden diese Konzepte weder für den ESA/MSA noch für die allgemeine Hochschulreife genannt, sind aber in den Curricula einiger Bundesländer vorhanden (z. B. ISB, 2024 oder Niedersächsisches Kultusministerium, 2018)
- Die Analyse von Medienberichten, wie es Gal & Geiger (2022) beschrieben, ist eine weitere Möglichkeit den Stellenwert von Mathematik zu verdeutlichen. In der Studie wird deutlich, dass ein Verständnis der schriftlichen Darstellung von Daten zum Verständnis notwendig ist. Zusätzlich zeigt sich, dass eine Beachtung der Datenqualität unumgänglich ist, um die vermittelten (mathematischen und statistischen) Inhalte richtig einschätzen zu können. Insgesamt verdeutlicht diese Analyse den Stellenwert von Mathematik und Daten in Medienberichten und zeigt die Notwendigkeit verschiedener Fähigkeiten des Verstehens, Interpretierens und Evaluierens von medial dargestellten Informationen auf. Ein solch kompetenter Umgang mit Daten ist eine Grundvoraussetzung für „statistisches Mündigwerden“ (vgl. Gross & Lengnink, 2024, S. 39), nicht zuletzt, um realen Problemen bzw. Phänomenen im gesellschaftlichen Diskurs folgen zu können.

Das Potential, das diesen oder ähnlichen Aufgabenstellungen sowie realen Problemen oder Phänomenen im Kontext der BNE zugesprochen werden kann, liegt zweifelsohne in der Entwicklung eines kritisch-mathematischen Blicks (Jablonka, 2003), der die Verwendung von Mathematik in der Gesellschaft kritisch reflektiert. So wird die enge Verbindung von Inhalten (im Sinne von Leitideen der Bildungsstandards) und notwendiger prozessbezogener Kompetenzfacetten bzw. Kompetenzen offensichtlich, da die Erarbeitung von Kontexten der nachhaltigen Entwicklung nicht als Produkt erfolgt, sondern im (Unterrichts-)

Prozess umgesetzt wird. Dabei stehen nicht nur technische Fertigkeiten im Fokus, sondern es muss Wert auf den Umgang mit deskriptiven und normativen Modellen, auf Begründungen und Argumentationen in mathematischen Kommunikationssituationen gelegt werden.

Die Notwendigkeit eines verständnisorientierten Umgangs mit Mathematik macht die globalen Herausforderungen unserer Zeit und die damit verbundene Anforderung nach Integration von Kontexten der nachhaltigen Entwicklung in den Unterricht noch deutlicher, als dies wie eingangs zitiert schon vor über 30 Jahren gefordert wurde. Die kalkülastigen Aufgabensammlungen, wie sie von professionellen Anbietern teilweise ohne didaktische Expertise entwickelt, vermarktet und auch in der Schule verwendet werden, rechenlastige Erklärvideos, in denen das Wie, nicht aber das Warum angesprochen wird – wie sie von Lernenden aller Altersklassen genutzt werden – binden derzeit solche wichtigen Kontexte nicht ein – nicht zuletzt weil es ein Mindestmaß an kognitiver Aktivierung von Lernenden bedarf, um sich mit solchen Inhalten auseinanderzusetzen. Vielmehr bedarf es Aufgabenformaten und Lernumgebungen, in denen die Schülerinnen und Schüler selbstständig auf kreative Weise mathematische Verfahren und Konzepte nutzen können, um zu erkennen, inwiefern Mathematik bei den dargestellten Problemsituationen ein geeignetes Werkzeug darstellt, diese Probleme anzugehen, Ergebnisse zu bewerten und entsprechende Maßnahmen abzuleiten. G. Graumann hat dies bereits 1994 sehr treffend formuliert und sollte von uns allen wieder mehr ins Bewusstsein rücken: „Zusammenfassend ließe sich also sagen, daß die Mathematik uns ein in besonderer Weise elaboriertes Begriffssystem und spezielle Darstellungsformen zur Verfügung stellt, das uns Erklärungshilfen für die Vergangenheit und Handlungsorientierungen für die Zukunft liefert.“ (Graumann, 1994, S. 2, Hervorhebungen im Original).

Literatur

- Anwar, Juandi, D., & Ningsih, S. Y. (2020). Education for sustainable development: Investigating the sustainability consciousness and mathematical competence in the geometry for middle school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3) DOI:10.1088/1742-6596/1521/3/032068
- Barwell, R. (2018). Some Thoughts on a Mathematics Education for Environmental Sustainability. In Ernest, P. (Hrsg.) *The Philosophy of Mathematics Education Today*. ICME-13 Monographs. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-319-77760-3_9
- Barwell, R., & Hauge, K. H. (2021). A critical mathematics education for climate change: A post-normal approach. In *Applying critical mathematics education* (pp. 166-184). Brill.
- Blomhøj, M., & Kjeldsen, T. H. (2006). Teaching mathematical modelling through project work. *ZDM – Mathematics Education*, 38(2), 163–177. DOI:10.1007/BF02655887
- Büchter, A. & Leuders, T. (2009). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln: Lernen fördern – Leistung überprüfen*. Cornelsen Scriptor.
- Engelbrecht, J., Borba, M & Kaiser, G. (2023). COVID 19 pandemic – its mathematical background and its social and educational consequences. *ZDM – Mathematics Education*, 55(1).
- Gal, I. & Geiger, V. (2022). Welcome to the era of vague news: a study of the demands of statistical and mathematical products in the COVID-19 pandemic media. *Educational Studies in Mathematics*, 111, 5–28. DOI:10.1007/s10649-022-10151-7
- Graumann, G. (1994). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung: mit Blick auf Schlüsselprobleme unserer Welt. *Mathematik in der Schule*, 32(1), 1–7
- Groß, J. & Lengnink, K. (2024). Statistisches Mündigwerden – dem Gender Pay Gap auf der Spur. *mathematik lehren*, 245, 39-44
- Hallinger, P., & Nguyen, V.-T. (2020). Mapping the landscape and structure of research on education for sustainable development: A bibliometric review. *Sustainability*, 12(5), 1947. DOI:10.3390/su12051947
- Heymann, H. W. (1996). *Allgemeinbildung und Mathematik*. Beltz.
- ISB (Hrsg.). (2024). *LehrplanPLUS Gymnasium Mathematik Jahrgangsstufe 11*. www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/11/mathematik
- Jablonka, E. (2003). Mathematical Literacy. In A. Bishop, M. A. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F. K. S. Leung (Hrsg.): *Second international handbook of mathematics education* (S. 75–102). Kluwer Academic Publishers.
- Jahnke, T. (1995). Warum sollen Schüler (nicht) Mathematik lernen. *Mathematik in der Schule*, 33(6), 322–328
- JMU (2024). *Eine Strategie für mehr Nachhaltigkeit*. www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/uniwue/Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsstrategie_UA.pdf
- Just, J., Siller, H.-St. & Vorhölter, K. (2023). Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Mathematikunterricht am Beispiel des Themas Klima. *MNU-Journal*, 6, 456–463.
- KMK/BMZ (2007). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung*. www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_06_00_Orientierungsrahmen_Globale_Entwicklung.pdf
- KMK (2023): *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Informationen der Länder*. www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/AllgBildung/2023-02-17_BNE-Info-Laender.pdf
- KMK (2024). *Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule*. www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-BNE-Empfehlung.pdf

- Lafuente-Lechuga, M., Cifuentes-Faura, J. & Faura-Martínez, Ú. (2024). Teaching sustainability in higher education by integrating mathematical concepts. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(1). 62–77. DOI:10.1108/IJSHE-07-2022-0221
- Li, H. C., & Tsai, T. L. (2021). Education for sustainable development in mathematics education: what could it look like? *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(9), 2532–2542. DOI:10.1080/0020739X.2021.1941361
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2018). *Kerncurriculum Mathematik Sek II*. cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=download&upload=208
- Reiss, K., Ufer, S., Ulm, V. & Wienholtz, G. (2016). Mathematik. KMK, BMZ & Engagement Global (Hg.) (2016), *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung für die Sekundarstufe 1*. Bonn
- Rieckmann, M. (2021). Reflexion einer Bildung für nachhaltige Entwicklung aus bildungstheoretischer Perspektive. *Journal for Religion in Education*, 44(2), 5–16. DOI:10.20377/rpb-153
- Siller, H.-St., Günster, S. M. & Geiger, V. (2024). Mathematics as a central focus in STEM – Theoretical and practical insights from a special study program within pre-service (prospective) teacher education. In Y. Li, Z. Zeng & N. Song (Hrsg.): *Advances in STEM education. Disciplinary and interdisciplinary education in STEM* (S. 317–343). Springer Nature Switzerland. DOI:10.1007/978-3-031-52924-5_15
- Siller, H.-S., Vorhölter, K., Just, J., Orschulik, A., & Zierjacks, C. (2025a). Empirical differentiation of student competencies in ESD. In *ICMI Study 27*.
- Siller, H.-S., Vorhölter, K., Oldenburg, R., Schneider, K., Wagener, M. & Warmeling, A. (2025b). Mathematik. In KMK, BMZ & Engagement Global (Hrsg.): *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung für die Gymnasiale Oberstufe (OR GOS)*. Bonn.
- Skovsmose, O. (2020). Critical mathematics education. In Lerman, S. (Hrsg.): *Encyclopedia of mathematics education*. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-15789-0_34
- Skovsmose, O. (2023). *Critical mathematics education*. Springer. DOI:10.1007/978-3-031-26242-5;
- UN General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. resolution / adopted by the General Assembly, A/70/L.1. <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- UNESCO (2017). *Education for sustainable development goals: learning objectives*. UNESCO.
- UNESCO (2020). *Education for sustainable development: a roadmap*. UNESCO. DOI:10.54675/YFRE1448
- UNESCO & MGIEP (2017). *Textbooks for sustainable development*. UNESCO.
- Vollrath, H.-J. (1983). Die umwelterschließende Funktion des Mathematikunterrichts. *Pädagogische Welt*, 37, 726–730, 743.
- Wals, Arjen E. J. (2011). Learning our way to sustainability. *Journal of Education for Sustainable Development*, 5(2), 177–186. DOI:10.1177/097340821100500208
- Wiegand, S. (2024). *Zum Beitrag der mathematischen Modellierung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung – ein Leitfaden für den Mathematikunterricht*. RPTU Distance and Independent Studies Center.
- Wiegand, S. & Borromeo Ferri, R. (2023). Promoting pre-service teachers' professionalism in steam education and education for sustainable development through mathematical modelling activities. *ZDM – Mathematics Education*, 55, 1269–1282. DOI:10.1007/s11858-023-01500-8
- Wilhelm, K. (2024). *BNE im Mathematikunterricht – Nicht nur eine Frage der Lerninhalte: Der Achtsame Unterricht*. DOI:10.22028/D291-42410
- Winter, H. (1994): *Sachrechnen in der Grundschule. Problematik des Sachrechnens, Funktionen des Rechnens*. Cornelsen.
- Winter, H. (1995): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. In *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*, 21(61), S. 37–46.
- Wittmann, E. C. (2010). Natürliche Differenzierung im Mathematikunterricht der Grundschule – vom Fach aus. In P. Hanke, G. Möwes-Butschko, A. K. Hein, D. Berntzen, & A. Thielges (Hrsg.): *Anspruchsvolles Fördern in der Grundschule* (pp. 63–78). Waxmann.
- Hans-Stefan Siller, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
hans-stefan.siller@uni-wuerzburg.de
- Katrin Vorhölter, TU Braunschweig
katrin.vorhoelter@tu-braunschweig.de