

Fachkapitel Mathematik

**Hans-Stefan Siller, Katrin Vorhölder, Reinhard Oldenburg, Kristina Schneider,
Marina Wagener, Antonius Warmeling**

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Siller, Hans-Stefan, Katrin Vorhölder, Reinhard Oldenburg, Kristina Schneider, Marina Wagener, and Antonius Warmeling. 2025. "Fachkapitel Mathematik." In *KMK/BMZ Orientierungsrahmen Globale Entwicklung – Bildung für nachhaltige Entwicklung in der gymnasialen Oberstufe*, 591–618. Bonn: Engagement Global. <https://www.westermann.de/artikel/978-3-14-130363-6/Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung-fuer-die-gymnasiale-Oberstufe-Langfassung>.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

Deutsches Urheberrecht

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>



D Mathematisch-informatisch-naturwissenschaftlich-technisches Aufgabenfeld

6.15 Fachkapitel Mathematik

Hans-Stefan Siller, Katrin Vorhölder, Reinhard Oldenburg, Kristina Schneider, Marina Wagener, Antonius Warmeling

6.15.1 Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in Mathematik

Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) soll Lernende befähigen, informierte Entscheidungen zu treffen und aktiv an der Gestaltung einer nachhaltigen Gesellschaft mitzuwirken. Hierbei kann die Mathematik als Wissenschaft der Muster und Strukturen die Grundlage vieler Modelle (z. B. zum Klimaschutz, zur Ausbreitung von Krankheiten und Pandemien etc.) und Entscheidungsverfahren bilden (z. B. Sitzplatzverteilung bei Wahlen, Ansätze zur Erfassung unterschiedlicher Ausprägungen von Armut etc.). Mathematik ist aber auch eine reine Geisteswissenschaft, die die Richtigkeit ihrer Aussagen nicht empirisch untermauern kann, sondern auf die Qualität ihrer Argumentationskultur vertrauen muss. Nicht zuletzt aufgrund dieser beiden Perspektiven ist Mathematik von besonderem Bildungswert, auch oder weil vermittelt Mathematik zum sorgfältigen, kritischen und selbstkritischen Denken angeleitet werden kann. In diesem Zusammenhang werden auch Kontexte angeboten, die mathematische Inhalte aufgreifen, die über Inhalte der Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (KMK 2012) hinausgehen, aber für ein tiefergehendes Verständnis aktueller globaler und lokaler Herausforderungen notwendig sind und von Lernenden konstruktiv realisiert werden können.

Auch im Unterrichtsfach Mathematik sind Lehrkräfte inzwischen in der Pflicht, Bildung für nachhaltige Entwicklung zu integrieren. Beispiele hierfür finden sich sowohl in einschlägigen Quellen (z. B. JUST ET AL. 2022; SILLER ET AL. 2024) als auch in den Ausführungen der KMK – exemplarisch für das Bundesland Rheinland-Pfalz dargestellt: „Im Rahmenlehrplan Mathematik wird die BNE durch die Wahl geeigneter inner- und außermathematischer Probleme umgesetzt, an Hand derer BNE-betreffende Fragestellungen behandelt werden können.“ (KMK 2017, S. 48) Diesem Zitat liegen zwei wesentliche Aspekte zugrunde, die im Kontext der BNE im Mathematikunterricht Berücksichtigung finden müssen:

1. Zunächst kann Mathematik als Werkzeug für Kontexte interpretiert werden, und zwar nicht nur für solche, bei denen es offensichtlich ist, dass die Anwendung mathematischer Verfahren Grundlage für Meinungsbildungen oder Entscheidungen sein kann, sondern auch bei solchen, die zunächst wenig reichhaltig an mathematischen Fakten und Inhalten scheinen. Realitätsbezogene, spezifische Probleme aus dem Kontext BNE werden aufgegriffen und nicht nur mithilfe mathematischer Verfahren gelöst, sondern insbesondere mit Blick auf den Kontext/das Problem interpretiert, validiert und reflektiert (z. B. CO₂-Budget, ökologischer Fußabdruck, politische Wahlsysteme etc.). So kann der Mehrwert der Mathematik für Kontexte der BNE deutlich werden.
2. Erwähnenswert ist auch die Betonung innermathematischer Probleme, die v. a. die wissenschaftspropädeutische Komponente der Mathematik ansprechen, um

nicht zuletzt eine adäquate Denkschulung im Unterrichtsfach – auch curricular angebunden – zu ermöglichen (z. B. iterative und rekursive Verfahren, Regression und Korrelation), denn: „Erst auf der Basis hinreichend verstandener Mathematik können Schüler erfahren, daß mathematische Begriffe und Techniken in vielen Situationen als ‚Verstärker‘ ihres Alltagsdenkens taugen.“ (HEYMANN 1996^b, S. 547)

So ermöglicht die Behandlung von BNE-relevanten Themen im Unterrichtsfach Mathematik, sich mit (neuen) sinnvollen Problemstellungen auseinanderzusetzen. Dies bedeutet, dass Lehrkräfte Themen der BNE so aufgreifen, dass geeignete mathematische Fähigkeiten und/oder Fertigkeiten seitens der Lernenden (weiter)entwickelt werden und diese den Wert der mathematischen Methoden und kritischen Denkweisen im oben zitierten Sinn erkennen. Gleichzeitig erweitern Lernende so

„ihre Kenntnisse über die komplexe und wechselseitige Abhängigkeit [...], eignen sich Wissen über Umwelt- und Entwicklungsprobleme, deren komplexe Ursachen sowie Auswirkungen an und setzen sich mit Normen und Werten auseinander, um ihre Umwelt wie auch die vernetzte Welt im Sinne des Globalen Lernens kreativ mitgestalten zu können“ (ISB 2020).

Mathematik wird „in realen und sinnhaften Kontexten [...] [anhand] real existierender Probleme, Fragestellungen oder Zusammenhänge“ (SILLER 2015, S. 2) aufgegriffen und folgt der Tradition der Grunderfahrung(en), „Erscheinungen der Welt um uns, die uns alle angehen oder angehen sollten, aus Natur, Gesellschaft und Kultur, in einer spezifischen Art wahrzunehmen und zu verstehen“ (WINTER 1995, S. 37). Damit wird dem Allgemeinbildungsauftrag des Unterrichtsfachs Mathematik in Form von Lebensvorbereitung, Weltorientierung, Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch und Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft Genüge getan (HEYMANN 1996^a). Lebensvorbereitung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass

„unmittelbar lebensnützliche Alltagsaktivitäten wie Schätzen, Überschlagen, Interpretieren und Darstellen sowie die verständige Handhabung technischer Hilfsmittel [...] im Mathematikunterricht aller Stufen, bei steigendem Anspruchsniveau, häufiger und intensiver thematisiert, mathematisch reflektiert und geübt werden.“ (HEYMANN 1996^b, S. 549)

Zugleich sollen „vielfältige Erfahrungen ermöglicht werden, wie Mathematik zur Deutung und Modellierung, zum besseren Verständnis und zur Beherrschung primär nichtmathematischer Phänomene herangezogen werden kann.“ (HEYMANN 1996^b, S. 549) Darüber hinaus werden die Lernenden zur kritischen Reflexion angeleitet, die „Sachwissen und bestimmte Denkfähigkeiten und -fertigkeiten voraus[setzt]. Es ist jedoch nicht ausreichend, über derartige Qualifikationen zu verfügen, es muss auch die Bereitschaft vorhanden sein, diese einzusetzen.“ (PESCHEK 2000, S. 11)

Schließlich kann durch das Aufgreifen von Themenfeldern der BNE die Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft der Lernenden gefördert werden.

„Verantwortlich verhält sich, wer die Folgen seines Handelns (bzw. Nicht-Handelns) für sich und andere bedenkt und für sie einsteht [...]. Für die/den Einzelne/n bezieht sich Verantwortung vor allem auf ihre/seine Mitmenschen und auf ihre/seine natürliche wie artifizielle Umwelt. Diese Verantwortung [...] bezieht Wissen und Sachkompetenz in die ethische Haltung mit ein. (Demzufolge ist eine Übernahme von Verantwortung ohne entsprechendes Sachwissen und Kompetenz verantwortungslos).“ (PESCHEK 2000, S. 12f.)

Die Bearbeitung von BNE-Themen darf sich nicht nur auf die Anwendung von Grundwissen bzw. Basiskompetenzen beschränken, sondern muss auch die Einbindung von Reflexionswissen erfordern, um die betrachteten Vorgänge konstruktiv und mit Blick auf die Befähigung zu global-gesellschaftlicher Teilhabe und Mitgestaltung aufzugreifen. Dieser Perspektive folgend kann Mathematikunterricht im Sinn der Demokratiebildung einen Beitrag zu einem rationalen Zugang zur diskursiven Auseinandersetzung mit globalgesellschaftlichen Fragen (z.B. Klimakrise, Verlust von Biodiversität, Pandemien, Krieg, globale und lokale Entwicklungen politischer Teilhabe etc.) leisten und damit das Vornehmen individuell begründeter, reflektierter Bewertungen fördern, die eine Grundlage von Entscheidungen und bewusstem Handeln darstellen.

Durch den domänenspezifischen Einsatz digitaler Werkzeuge können die Kontexte der BNE in ihrer Komplexität im Mathematikunterricht aufgegriffen und in vielen Fällen eine unnötige didaktische Reduktion oder gar Trivialisierung verhindert werden. Hierfür müssen mathematische Fertigkeiten und Fähigkeiten auf intellektuell ehrliche Weise angewendet werden, um die Kernkompetenzen der BNE – **Erkennen**, **Bewerten**, **Handeln** – zu adressieren. So können Lernende erfahren, Mathematik auch in BNE-bezogenen Situationen zu identifizieren und zu realisieren (Erkennen), die zunächst nicht für mathematische Konzepte und Verfahren zugänglich erscheinen. Als Konsequenz gilt es, sowohl die eingesetzten Verfahren und Konzepte als auch die hierdurch erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse im Kontext globaler Entwicklungsfragen einem Bewerten zu unterziehen. Das Erkennen und Bewerten mathematischer Verfahren und Konzepte in Kontexten der BNE ermöglicht ein reflektiertes Handeln, sodass die Berücksichtigung von Werten und normativen Ideen im Unterrichtsfach Mathematik zentrale Bedeutung erlangt, um ein Agieren als verantwortungsbewusste, mündige Bürgerinnen und Bürger zu fördern.

Durch ein solches Vorgehen erfährt das Unterrichtsfach Mathematik einen Mehrwert, der bereits in vielen Curricula der Länder, mindestens im allgemeinen Teil, enthalten ist (z. B. die Einbindung von Mathematik in interdisziplinäre Kontexte), sodass auch Aspekte der Digitalisierung und Demokratiebildung, aber ebenso Fragen der Werterhaltung bzw. Haltung im Allgemeinen diskutiert und ggf. reflektiert werden. So ist letztlich ein Bezug zu den Leitideen der Bildungsstandards (KMK 2012) gewährleistet und die Thematik BNE wird nicht als Mehrbelastung seitens der Lehrkräfte interpretiert, sondern als integraler Bestandteil des Mathematikunterrichts aufgefasst. Gleichzeitig können Lernende den Mehrwert mathematischer Konzepte und Verfahren für Kontexte der BNE erfahren, um beispielsweise im Kontext eigener Meinungsbildung oder Reflexion von Maßnahmen rational zu argumentieren.

Angebote über den schulischen Alltag der Lernenden hinaus ermöglichen in jedem Bundesland außerschulische Kooperationspartnerinnen und -partner, die damit die Verzahnung des Themenfelds BNE und Mathematik veranschaulichen. Lehr-Lern-Labore (wie jenes am Lehrstuhl für Mathematik V – Didaktik der Mathematik an der Universität Würzburg) oder die Einrichtung LeLa¹ bieten eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie dies auch im Schülerlabor-Atlas² ersichtlich ist.

¹ Siehe <https://www.lernortlabor.de>.

² Siehe <https://www.schuelerlabor-atlas.de/home>.

6.15.2 Kompetenzorientierung

Für eine Berücksichtigung von Themen nachhaltiger Entwicklung im Unterrichtsfach Mathematik ist es zwingend notwendig, die drei Dimensionen der Bildungsstandards (BiSta) für den Orientierungsrahmen Globale Entwicklung konsequent in den Fokus zu rücken: Die durch die Leitideen in den BiSta formulierte inhaltsbezogene Dimension spannt den curricularen Rahmen (L1 – L5)³; die prozessbezogenen Kompetenzen (K1 – K6)⁴ müssen als leitend für die BNE-Kompetenzbereiche Erkennen, Bewerten und Handeln erachtet werden. Die in den KMK-Bildungsstandards der Mathematik vorgegebenen drei Anforderungsbereiche erlauben eine differenzierte Einschätzung der Komplexität ausgewählter Problemstellungen. Nachstehende Tabelle zeigt exemplarische Verknüpfungen der BNE-Kernkompetenzen mit domänenspezifischen Leitideen und Kompetenzen. Die Exemplarität ist hierbei leitend, was nicht zuletzt der Breite und der Neuartigkeit der Themen im Unterricht geschuldet ist. Damit wird sowohl einer Oberflächenstruktur als auch einer notwendigen Tiefenstruktur für geeignete Unterrichtsthemen Rechnung getragen.

| **Tabelle 57:** Fachbezogene Teilkompetenzen

Kernkompetenzen	Fachbezogene Teilkompetenzen (Die Lernenden können ...)
Erkennen – Die Lernenden können ...	
1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung ... hilfreiche Informationen zu Fragen der Globalisierung und Entwicklung beschaffen und themenbezogen verarbeiten.	1.1 ... Mathematik als interdisziplinäres Kommunikationsmittel in Themenfeldern der BNE einsetzen. 1.2 ... Fachtexte mathematisch kritisch und sinnentnehmend erfassen, um das Potenzial der dahinterliegenden mathematischen Konzepte für BNE zu erkennen. 1.3 ... für BNE-Themen Daten und deren Relevanz in unterschiedlichen Repräsentationsformen (Tabellen, Grafiken, Matrizen) erkennen. 1.4 ... die Qualität (Ernsthaftigkeit, Glaubwürdigkeit, Genauigkeit etc.) und Aktualität von Daten aus unterschiedlichen Quellen einschätzen.
2. Erkennen von Vielfalt ... die soziokulturelle und natürliche Vielfalt erkennen.	2.1 ... Gemeinsamkeiten und Unterschiede statischer bzw. dynamischer Repräsentationsarten und Darstellungsformen beschreiben und differenziert behandeln. 2.2 ... im Sachkontext geeignete mathematische Fragen zur Analyse lokaler und globaler Strukturen formulieren. 2.3 ... Güte und Grenzen (unterschiedlicher) mathematischer Modelle zur Beschreibung und Analyse globaler und lokaler Entwicklungen reflektieren.

³ Leitideen nach KMK (2012): L1 ... Algorithmus und Zahl, L2 ... Messen, L3 ... Raum und Form, L4 ... Funktionaler Zusammenhang, L5 ... Daten und Zufall.

⁴ Allgemeine mathematische Kompetenzen nach KMK (2012): K1 ... Mathematisch Argumentieren, K2 ... Probleme mathematisch lösen, K3 ... Mathematisch modellieren, K4 ... Mathematische Darstellungen verwenden, K5 ... Mit symbolischen formalen und technischen Elementen der Mathematik umgehen, K6 ... Mathematisch kommunizieren.

3. Analyse des globalen Wandels ... Globalisierungs- und Entwicklungsprozesse mithilfe des Leitbilds der nachhaltigen Entwicklung analysieren.	3.1 ... die Möglichkeiten und Grenzen mathematischer Konzepte und digitaler Mathematikwerkzeuge zur Analyse nachhaltiger Entwicklungen begreifen. 3.2 ... den Wert (Nützlichkeit etc.) mathematischer Modellierung als interdisziplinäre Methode zur Analyse von Themen nachhaltiger Entwicklung erfassen. 3.3 ... Prognosen für Fragen zu Themen nachhaltiger Entwicklung erarbeiten und daraus Hypothesen mathematisch ableiten.
4. Unterscheidung von Handlungsebenen ... Handlungsebenen vom Individuum bis zur Weltebene in ihrer jeweiligen Funktion für Entwicklungsprozesse erkennen und darstellen.	4.1 ... individuelle, gesellschaftliche, ökonomische, ökologische und politische Einflussfaktoren als solche erkennen und deren Auswirkungen auf Prozesse auf lokaler und globaler Ebene verstehen. 4.2 ... globale BNE-Kontexte als Individuum mithilfe der curricular zur Verfügung stehenden mathematischen Mittel begreifen und deren Konsequenzen in damit einhergehenden mathematischen Fragestellungen reflektieren. 4.3 ... normative Modelle als Mittel zur gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Steuerung begreifen.
Bewerten – Die Lernenden können ...	
5. Perspektivenwechsel und Empathie ... sich unterschiedliche Werteorientierungen in ihrer Bedeutung für Verhaltensweisen und Entscheidungen bewusst machen und reflektieren.	5.1 ... Gemeinsamkeiten und Unterschiede statischer bzw. dynamischer Repräsentationsarten und Darstellungsformen beurteilen. 5.2 ... grafische Darstellungen und Tabellen mit Daten zu globalen Fragen auswerten und reflektieren. 5.3 ... mathematische Konzepte zur Bewertung zielgruppenorientierter Argumentationen in BNE-Kontexten einsetzen.
6. Kritische Reflexion und Stellungnahme ... auf der Grundlage kritischer Reflexion zu Globalisierungs- und Entwicklungsfragen Stellung beziehen und sich dabei an der internationalen Konsensbildung, am Leitbild nachhaltiger Entwicklung und an den Menschenrechten orientieren.	6.1 ... vorgefertigte Modellierungen zu Entwicklungsfragen der Globalisierung kritisch hinterfragen und Ergebnisse zur Konsensbildung verwenden. 6.2 ... Produkte/Resultate/... mathematischer Überlegungen kohärent und vollständig darlegen, präsentieren und in Themenfeldern von BNE begründet Stellung nehmen.

<p>7. Beurteilen von Entwicklungsmaßnahmen</p> <p>... Ansätze zur Beurteilung von Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung (bei uns und in anderen Teilen der Welt) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Interessen und Rahmenbedingungen erarbeiten und zu eigenständigen Bewertungen kommen.</p>	<p>7.1 ... Argumente im interdisziplinären Kontext hinsichtlich unterschiedlicher Interessen und Rahmenbedingungen mathematisch bewerten.</p> <p>7.2 ... Produkte/Resultate/selbstständige Modellierungen mathematischer Überlegungen im interdisziplinären Kontext und in Diskussionen beurteilen.</p>
<p>Handeln – Die Lernenden können ...</p>	
<p>8. Solidarität und Mitverantwortung</p> <p>... Bereiche persönlicher Mitverantwortung für Mensch und Umwelt erkennen und als Herausforderung annehmen.</p>	<p>8.1 ... 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.</p> <p>8.2 ... mit Mathematik rational und reflektiert handeln, um Statements zur Meinungsbildung zu verifizieren oder falsifizieren.</p>
<p>9. Verständigung und Konfliktlösung</p> <p>... zur Überwindung soziokultureller und interessenbestimmter Barrieren in Kommunikation und durch Zusammenarbeit zu Konfliktlösungen beitragen.</p>	<p>9.1 ... Mathematik als Werkzeug nutzen, um Konflikte rational zu diskutieren, zu beeinflussen und/oder zu lösen.</p>
<p>10. Handlungsfähigkeit im globalen Wandel</p> <p>... die gesellschaftliche Handlungsfähigkeit im globalen Wandel vor allem im persönlichen und beruflichen Bereich durch Offenheit und Innovationsbereitschaft sowie durch eine angemessene Reduktion von Komplexität sichern und die Ungewissheit offener Situationen aushalten.</p>	<p>10.1 ... mathematische Konzepte und Verfahren zur Generierung von Modellen für den globalen Wandel reflektiert anwenden.</p> <p>10.2 ... mathematische Konzepte und Verfahren zur Gestaltung und Entscheidungsfindung im persönlichen und beruflichen Umfeld reflektiert einsetzen.</p> <p>10.3 ... mathematische Methoden zur Risikoabschätzung einsetzen, um insbesondere in offenen und innovativen Situationen kritisch Stellung nehmen zu können.</p>

<p>11. Partizipation und Mitgestaltung</p> <p>... und sind aufgrund ihrer mündigen Entscheidung bereit, Ziele der nachhaltigen Entwicklung im privaten, schulischen, öffentlichen und beruflichen Bereich zu verfolgen und sich an deren Umsetzung auf gesellschaftlicher und politischer Ebene zu beteiligen.</p>	<p>11.1 ... mithilfe mathematischer Methoden evidenzbasierte Entscheidungen treffen, um im gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext handlungsfähig zu sein.</p> <p>11.2 ... unter Zuhilfenahme mathematischer Methoden Konsequenzen ihrer eigenen Handlungen hinsichtlich der Ziele der nachhaltigen Entwicklung realisieren und evaluieren.</p>
---	--

6.15.3 Didaktisches Konzept

Wie in Kapitel 6.15.1 erläutert werden im Fach Mathematik wesentliche Aspekte (u. a. Lebensvorbereitung, Weltorientierung, Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch und Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft) der Allgemeinbildung nach HEYMANN (1996^a) aufgegriffen. So kann die Fähigkeit, Modelle zu entdecken, zeitliche Abläufe zu bewerten oder systemisch zu handeln, gefördert werden. Diese Kategorisierung ermöglicht anhand der BNE-Kernkompetenzen das Aufgreifen systemischen Denkens im Mathematikunterricht. Die dargelegte Fokussierung stellt eine auf BNE(-Themen) bezogene Akzentuierung und Erweiterung prozessbezogener Kompetenzen der KMK-Bildungsstandards für den Mathematikunterricht (KMK 2012) dar. Hierdurch wird ein integrativer Ansatz für den Mathematikunterricht verfolgt. Die in Kapitel 6.15.2 formulierten Kompetenzen zeigen exemplarisch, dass BNE für die (und in der) mathematische(n) Unterrichtspraxis als kompetenzorientiertes Bildungsziel implementiert werden kann. Um eine solche Integration zu ermöglichen, erfolgt eine Orientierung nicht nur an domänenspezifischen Inhalten, sondern auch an den Lernenden, um deren individuelle Dispositionen konstruktiv in den Blick zu nehmen. Ein Ziel dieses Zugangs besteht in der Vermeidung von Ausbildung bzw. Kumulation trägen Wissens bei Lernenden. Hierbei ist nicht nur auf eine Leistungsdifferenzierung zu achten, sondern auch auf unterschiedliche Zugangsweisen und Motivationslagen. Dafür existieren diverse binnendifferenzierende Ansätze. Exemplarisch dafür werden zwei mathematikdidaktisch bekannte Ansätze – Blütenaufgabe und Problem Posing – angeführt.

Der Aufgabentyp der Blütenaufgaben (z. B. BRUDER 2003) besteht aus maximal fünf Teilaufgaben zum selben Kontext, die sich in ihrem Anspruchsniveau unterscheiden können. Der Vorteil dieses Typs liegt nicht nur in der Herausforderung selbstdifferenzierender Fähigkeiten, sondern auch in der Möglichkeit, einfache, geschlossene Einstiege anzuwenden, die zunehmend offener und somit auch in der Bearbeitung und den Fragestellungen komplexer werden. Es werden auch Aufgaben auf demselben Niveau ermöglicht, die aber durch unterschiedliche Zugangsweisen gelöst werden können oder verschiedene Interessen ansprechen. Eine Variation dieses Ansatzes wird durch SALLE ET AL. (2014) beschrieben. Der offensichtliche Unterschied liegt in der Unabhängigkeit der formulierten Aufgabenstellungen zum selben Impuls.

Ein anderer Ansatz besteht in der Bereitstellung eines (BNE-spezifischen) Kontexts, zu dem die Lernenden selbst im Sinn des Problem Posing für sie relevante und mathematisch bearbeitbare (Teil-)Fragen entwickeln und bearbeiten, um u. a. der Komplexität von BNE-Herausforderungen zu begegnen (LAFUENTE-LECHUGA ET AL. 2020).

So lässt sich auch das Konzept der natürlichen Differenzierung nach Wittmann (WITTMANN & MÜLLER 1990; WITTMANN 2010) integrieren, d. h. „eine ganzheitliche Erarbeitung von Themen, bei der sich Aufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus in natürlicher Weise ergeben“ (KRAUTHAUSEN & SCHERER 2014).

Ein weiterer konzeptionell bewährter Ansatz liegt in offenen, prozess- und handlungsorientierten sowie projektartigen Unterrichtsplanungen. Beispiele sind in der mathematikdidaktischen Literatur in ausreichendem Maß auffindbar, beispielsweise in der ISTRON-Gruppe⁵ oder in der MUED⁶. Mittels eines solchen offenen Unterrichtsansatzes, der Prinzipien des Projektunterrichts bzw. projektartigen Unterrichts aufgreift und verfolgt, wird verständnisvolles Lernen als „aktiver individueller Konstruktionsprozess, in dem Wissensstrukturen verändert, erweitert, vernetzt, hierarchisch geordnet oder neu generiert werden“ (BAUMERT & KÖLLER 2000, S. 273), realisiert. Bekannte und oftmals gestellte Forderungen, z. B. von DEWEY (1933), werden konsequent berücksichtigt und die geforderte Lebensvorbereitung und Weltorientierung (Kap. 6.15.1) zur Verankerung von BNE im Fach Mathematik immanent umgesetzt. Es gelingt hierdurch, einen kritischen Vernunftgebrauch im Unterrichtsprozess zu fokussieren und die Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft auf Basis einer domänenspezifischen Verständigung und Kooperation auszubilden. Auf diese Weise kann das erklärte Ziel der BNE, Lernende zu befähigen, „globale Zusammenhänge zu erschließen und im eigenen Handeln daraus abzuleitende Verantwortung für sich selbst sowie Mitverantwortung für andere und die Entwicklung der Welt zu übernehmen“ (BEHÖRDE FÜR SCHULE UND BERUFSBILDUNG HAMBURG 2010), in den Mathematikunterricht der Sek II integriert und die für die Sek I (REISS ET AL. 2016) vorliegenden Ausführungen fachspezifisch und an den BNE-spezifischen Kompetenzbereichen **Erkennen**, **Bewerten** und **Handeln** themenzentriert weiterentwickelt werden. Voraussetzung für die Bearbeitung BNE-relevanter Fragestellungen im Rahmen des Mathematikunterrichts ist, dass Lernende lernen, im Sachkontext geeignete mathematische Fragen zur Analyse lokaler und globaler Strukturen zu formulieren (2.2), Prognosen für Fragen aus BNE-Kontexten zu entwickeln und daraus mathematisch Hypothesen abzuleiten (3.3). Die Produkte und Resultate solcher mathematischen Überlegungen müssen abschließend kohärent und vollständig dargelegt und präsentiert werden können, um in BNE-Kontexten begründet Stellung nehmen zu können (6.2). Hierzu ist es notwendig, dass Lernende für BNE-Kontexte nutzbare Daten identifizieren und realisieren und deren Relevanz in unterschiedlichen Repräsentationsformen (Tabellen, Grafiken, Matrizen) erkennen (1.3). Dazu gehört auch, Qualität (Glaubwürdigkeit, Genauigkeit etc.) und Aktualität von Daten aus verschiedenen Quellen einschätzen zu können (1.4), Gemeinsamkeiten und Unterschiede statischer bzw. dynamischer Repräsentationsarten und Darstellungsformen zu beurteilen (5.1) sowie grafische Darstellungen und Tabellen mit Daten zu globalen Fragen auszuwerten und zu reflektieren (5.2). Dieser Zugang hilft Lernenden, Konzepte und Verfahren der Mathematik zur Bewertung zielgruppenorientierter Argumentationen im Zusammenhang mit Themen nachhaltiger Entwicklung einzusetzen (5.3). Darüber hinaus sollen sie mathematische Konzepte und Verfahren als Werkzeuge im sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext interdisziplinär und im Umgang mit Aussagen von Expertinnen und Experten sachkundig anwenden (8.1) und Statements zur Meinungsbildung verifizieren oder falsifizieren (8.2) können. Ebenso sollen die mathematischen Konzepte und Verfahren zur Gestaltung und Entscheidungsfin-

⁵ Siehe <https://www.didaktik.mathematik.uni-wuerzburg.de/istron/index.html>.

⁶ Siehe <https://www.mued.de>.

dung im persönlichen und beruflichen Umfeld reflektiert (10.2) sowie zur Risikoabschätzung eingesetzt werden, um in offenen und innovativen Situationen kritisch Stellung nehmen zu können (10.3). Ferner sollen Lernende unter Zuhilfenahme mathematischer Methoden evidenzbasierte Entscheidungen treffen, um im sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext handlungsfähig zu sein (11.1), Konsequenzen ihrer eigenen Handlungen hinsichtlich der Ziele der nachhaltigen Entwicklung zu realisieren und zu evaluieren (11.2) sowie Letztere zur Generierung von Modellen für den globalen Wandel reflektiert anzuwenden (10.1).

Hierzu ist es notwendig, dass Lernende, die bei der Modellbildung verwendeten individuellen, gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Einflussfaktoren als solche erkennen und deren Auswirkungen auf lokale und globale Prozesse verstehen (4.1). Neben einem Verständnis der Natur von Modellen (insbesondere ihrer pragmatischen Bedingtheit) gehört hierzu auch, dass Lernende die Güte und Grenzen (unterschiedlicher) mathematischer Modelle zur Beschreibung und Analyse globaler Entwicklung erkennen (2.3). Neben dem selbstständigen Erstellen deskriptiver Modelle sollen Lernende normative Modelle als Mittel zur sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Steuerung erkennen (4.3) und entsprechend vorgefertigte Modellierungen zu Entwicklungsfragen der Globalisierung kritisch hinterfragen sowie Ergebnisse zur Konsensbildung verwenden (6.1).

Mittels der beschriebenen Tätigkeiten können Lernende erkennen, dass Mathematik als interdisziplinäres Kommunikationsmittel in BNE-Kontexten eingesetzt werden kann (1.1), und den Wert mathematischer Modellierung als interdisziplinäre Methode zur Analyse von BNE-Kontexten erfassen (3.2). Darüber hinaus können sie erfahren, dass Argumente im interdisziplinären Kontext hinsichtlich unterschiedlicher Interessen und Rahmenbedingungen mathematisch bewertet werden können und müssen (7.1). Überdies können Produkte/Resultate/selbstständige Modellierungen mathematischer Überlegungen im interdisziplinären Kontext und in Diskussionen beurteilt werden (7.2). Außerdem werden die Lernenden befähigt, Mathematik als Werkzeug zu nutzen, um Konflikte rational zu diskutieren, zu beeinflussen und/oder zu lösen, ohne einen Geltungsanspruch aufzugeben (9.1).

Implementierung und Realisierung inhaltlicher sowie methodischer Ansätze im Unterricht sind stets an die Kurssituation anzupassen. Hierbei stellt der Umgang mit einer heterogenen Lernendenschaft die größte Herausforderung dar (SILLER & ROTH 2016). Die zentrale Frage lautet, wie möglichst alle Lernenden konstruktiv und entwicklungsfördernd die Aufgaben bearbeiten. Erfahrungen, u. a. von BRUDER und WEHRSE (2014), zeigen, dass hierfür keinesfalls kurzfristige Interventionen sinnvoll sind. Auch soll das Rad im Unterricht nicht ständig neu erfunden werden – eine Kombination vorhandener und bewährter Elemente führt zu einer praktikablen Unterrichtsdramaturgie (SILLER & ROTH 2016, S. 2). Dahingehend ist auch unser Unterrichtsbeispiel zum CO₂-Budget in Kapitel 6.15.5 gestaltet. Dort werden Möglichkeiten eröffnet, die individuellen Unterschiede zwischen den Lernmotivationen, Einstellungen und Vorstellungen der Lernenden aufzunehmen und konstruktiv zu nutzen. Hierfür adressieren wir nicht nur unterschiedliche Lernvoraussetzungen, sondern auch diverse Zugänge, Vorerfahrungen und Interessen im Themenfeld. Somit wird ein zeitgemäßer Mathematikunterricht sinngebend anhand bewährter Unterrichtsstrategien und -methoden mit neuen Ideen aus dem Themenfeld der BNE angereichert und kombiniert.

Zusammenfassend kann der Mathematikunterricht einen rationalen Zugang zur Auseinandersetzung mit globalgesellschaftlichen Fragen fördern bzw. individuell begründete, reflektierte Bewertungen ermöglichen, die eine Grundlage von Entscheidungen und bewusstem Handeln darstellen. Mathematikunterricht fördert auf diese Weise insofern eine rationale Argumentationskultur und leitet zur kritischen Kommunikationsfähigkeit mit Expertinnen und Experten an, als er Denkwerkzeuge bereitstellen und Haltungen entwickeln kann, die die Plausibilität von News und Fake News zu beurteilen helfen. Diese Fähigkeiten sind bei der Gestaltung nachhaltiger Entwicklung von wesentlicher Bedeutung. Ebenso trägt ein solcher Ansatz zur digitalen Bildung bei: So kann der digitale Transformationsprozess selbst Gegenstand des Unterrichts sein (Digitalisierung als Lerngegenstand, etwa der Einfluss auf Energieumsätze und die Transformation von Kommunikations- und Entscheidungsprozessen). Dieser Prozess kann den Unterricht methodisch modernisieren (Digitalisierung als Lernmittel, insbesondere die Zugänglichkeit von Daten über relevante Sachverhalte). Dabei werden mathematische Kompetenzen auf verschiedenen Ebenen benötigt. Datenbanken liefern Werte oft in tabellarischer Form, die mit Tabellenkalkulationssystemen und anderen Programmen ausgewertet, in andere Darstellungsformen überführt und mit anderen Informationsquellen mit Mitteln der Statistik kontrastierend und bewertend verglichen werden können. Selbst erstellte mathematische Modelle (z. B. in Form von Computerprogrammen oder angepassten Funktionen) ermöglichen Prognosen. Das Wissen über Modellierung (z. B. über Modellierungsfehler) verbessert die Fähigkeit, Nachrichten kritisch einzuschätzen. An dieser Stelle trifft sich Digitalisierung mit demokratischer Bildung. Zudem sind authentische Fragestellungen in der Regel immer interdisziplinär und tragen so zu einer Vernetzung im MINT-Bereich und darüber hinaus bei.

6.15.4 Beispielthemen

Die im Folgenden aufgeführten Beispielthemen für einen Mathematikunterricht im Sinn einer BNE liefern relevante Sachkontexte, die für die Auseinandersetzung mit globalen Nachhaltigkeits- und Gerechtigkeitsfragen mit mathematischen Mitteln geeignet sind und gleichzeitig Raum für innermathematische Erkenntnisprozesse bieten (Kap. 6.15.1). Die Auswahl ist nach den Themenbereichen des Lernbereichs Globale Entwicklung geordnet und enthält Beispiele für die drei Kernthemen des Mathematikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe: Analysis (A), Lineare Algebra (LA) und Stochastik (St). Zu einigen der Beispielthemen sind Verweise auf bereits publizierte Unterrichtsvorschläge und didaktische Skizzen enthalten. Unter den angegebenen Quellen finden sich weiterführende Materialien und Publikationen (teilweise mit Bezug auf die Sek I), die die Planung und Durchführung des eigenen Unterrichts anreichern können.

| Tabelle 58: Liste der Beispielthemen (Exemplarische Vorschläge für Beispielthemen zu den OR-Themenbereichen, die in Kap. 5.5 ausführlicher beschrieben werden)

Themenbereiche	Beispielthemen
5 Landwirtschaft und Ernährung  	<p>Auswirkungen des Fleischkonsums (LA): Analyse der Auswirkungen des Fleischanteils an der Ernährung mithilfe linearer Mischungsmodelle</p> <p>(St): Korrelation zwischen Fleischkonsum und Regenwaldzerstörung (SILLER & MAASS 2013)</p>
6 Gesundheit, Krankheit, Pandemien und One Health 	<p>Häufigkeit und Ausbreitung tödlicher Krankheiten wie Ebola in verschiedenen Ländern und im historischen Verlauf (A): Modellierung der Totenzahlen, logistisches Wachstum (MUED 2014)</p> <p>Gesundheit und Wohlbefinden überall? (A): Untersuchung von Datenreihen zu einem der Indikatoren für SDG 3, mit Trendfunktionen Prognosen erstellen (WARMELING 2022^a)</p> <p>Wachstumsuntersuchungen bei Kindern (St): Normalverteilung, Perzentilkurven lesen und auswerten (RÖMER 2016)</p> <p>Unterernährung versus Übergewichtigkeit (St): Daten recherchieren, darstellen und analysieren, Korrelationen untersuchen (WAGNER ET AL. 2017)</p> <p>Untersuchungen von Clustern bei seltenen Erkrankungen (St): Hypothesentests etc. (SCHÄFER 2016)</p> <p>Computertomografie (LA): lineare Gleichungssysteme (OLDENBURG 2006)</p> <p>Eine Injektion gegen HIV (St): eine große Hilfe für Frauen nicht nur in Südafrika</p>
7 Bildung und Wissenschaft 	<p>Hochwertige Bildung (A, St): Zeitreihen zu Indikatoren zum SDG 4 darstellen und analysieren, mit Trendfunktionen Prognose erstellen</p> <p>Demokratiebildung (St): datengestützte Untersuchung von Wahlverfahren und -ergebnissen (FROHN & SALLE 2022; HEITZER & POHLKAMP 2020)</p> <p>Bildungsungleichheit: Korrelation zwischen sozialer Herkunft und Bildungschancen (JUST ET AL. 2025)</p>
8 Globalisierte Freizeit, Umwelt und Tourismus 	<p>Massentourismus und CO₂-Emissionen (A): datengestütztes Modellieren von Umweltauswirkungen, Prognosen</p> <p>Abschätzung von Energieverbräuchen für Internetnutzung und Streaming (St): datengestütztes Modellieren</p>

Themenbereiche	Beispielthemen
<p>9 Schutz und Nutzung natürlicher Ressourcen: Böden, Wasser und Weltmeere</p>  	<p>Leistung einer PV-Anlage in Abhängigkeit von Einfallswinkel und Abschattung (LA): Skalarprodukt und Winkelberechnungen (LUDWIG & OLDENBURG 2007)</p> <p>Wildtiermanagement (LA): Populationsmatrizen (BIEBER & RUF 2005)</p> <p>Der ökologische Fußabdruck (A): datengestützte Analyse des Ressourcenverbrauchs (BÜCHTER ET AL. 2021)</p> <p>Earth Overshoot Day (A): datengestützte Analyse des Ressourcenverbrauchs, Projektionen (BÖER 2019)</p> <p>Erdöl- und andere Vorräte (A): Analyse von Zeitreihen, Integralrechnung (KRÜGER 2016)</p> <p>Reduktion von Verpackungs-„Müll“ (A): Extremwertaufgaben (BÖER 2007)</p> <p>Photovoltaik – aber bitte effektiv (A): Ausrichtung und Neigung von PV-Anlagen in den Blick nehmen</p>
<p>10 Chancen und Gefahren technologischen Fortschritts, Energiegewinnung, KI und Digitalisierung</p> 	<p>Analyse von Recyclingprozessen (LA): Übergangsmatrizen</p> <p>Rohstoff – Verbräuche und Endlichkeit (A): Modellierung mithilfe von Differenzgleichungen, Integralrechnung (WARMELING 2009)</p>
<p>11 Klimawandel, Verschmutzung und Biodiversitätsverlust</p>  	<p>Eisschmelze (A): Plausibilitätsuntersuchungen, Zeitreihenanalysen (MUED 2021; POHLKAMP 2021)</p> <p>Anstieg des Meeresspiegels (A): Beschreibung und Auswertung von Zeitreihen – Ableitungsfunktion (MUED 2018)</p> <p>Insektenschwund (A): Integralrechnung (BÖER 2019)</p> <p>Simulation von Handlungsstrategien zur Erreichung der Pariser Klimaziele (A): Differential- bzw. Differenzgleichungen (CLIMATE INTERACTIVE 2023)</p> <p>Mathematikunterricht im Themenfeld Klima (St): Korrelation und Kausalität (JUST ET AL. 2023)</p> <p>Steigender Meeresspiegel und schwindendes Meereis (St): Messreihen zum Klimawandel untersuchen</p>
<p>12 Mobilität, Stadtentwicklung und Verkehr</p> 	<p>E-Mobilität (St): Modellierung von Klimagasentwicklung von E-Autos (NOSHADRAVAN ET AL. 2015)</p> <p>Lärmuntersuchungen (A): Messen und Berechnen von Schallenergie, Logarithmusfunktion (OLDENBURG 2022)</p>

Themenbereiche	Beispielthemen
14 Demografische und soziale Strukturen und Entwicklungen  	<p>Welt- und Länderbevölkerungswachstum (A): Modellierung mit verschiedenen Wachstumsannahmen, (St): Bevölkerungsvorberechnung (MUED 2012)</p> <p>Untersuchung von Bevölkerungsentwicklungen mit Blick auf die CO₂-Emissionen (A) (KRÜGER & BUDDE 2016)</p> <p>Wahlen (St): Sitzverteilungsverfahren und Gerechtigkeit (JAHNKE 1998; HEITZER & POHLKAMP 2020; MATHEWELT 2025)</p>
15 Armut und soziale Sicherheit  	<p>Schuldenkrise und Entschuldung (A, St): Modellierung von Überschuldungssituationen (WARMELING 2003)</p> <p>Entwicklung von Armut und Hunger in Pandemie-Situationen und globalen Krisen (A, St) (WELTHAUS BIELEFELD 2021)</p> <p>Armut und Hunger (A, St): Untersuchung von Zeitreihen zu den SDGs 1 und 2, funktionale Modellierung, Korrelation (OUR WORLD IN DATA 2023)</p> <p>Reichtum und Wachstum – Schieflagen (A): Gini-Koeffizient (REHLICH 2016; VOHNS 2013)</p> <p>Geschlechterungleichheit: Gender Pay Gap – Lohngefälle zwischen den Geschlechtern (GROSS & LENGNINK 2024)</p>
21 Kommunikation im globalen Kontext 	<p>Desinformation (Fake News) (St): Simpson-Paradoxon (WARMELING 2022^b)</p> <p>Der CO₂-Fußabdruck eines Babys (A): Integralrechnung (WARMELING 2020)</p>

6.15.4.1 Umsetzung ausgewählter Beispielthemen

Unterrichtsskizze 1

Titel: Photovoltaik – aber bitte effektiv. Ausrichtung und Neigung von PV-Anlagen in den Blick nehmen

Nachhaltige Entwicklungsziele (SDGs): 7, 13

OR-Themenbereich: 9 Schutz und Nutzung natürlicher Ressourcen: Böden, Wasser und Weltmeere

Kompetenzen (Klammern verweisen auf die fachbezogenen Teilkompetenzen aus Kap. 6.15.2)

Die Lernenden können ...

- im Sachkontext geeignete mathematische Fragen zur Analyse lokaler und globaler Strukturen formulieren. (2.2)
- Produkte/Resultate/... mathematischer Überlegungen kohärent und vollständig darlegen, präsentieren und in BNE-Kontexten begründet Stellung nehmen. (6.2)
- mathematische Konzepte und Verfahren zur Gestaltung und Entscheidungsfindung im persönlichen und beruflichen Umfeld reflektiert einsetzen. (10.2)

- mithilfe mathematischer Methoden evidenzbasierte Entscheidungen treffen, um im gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext handlungsfähig zu sein. (11.1)

Der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien ist das wichtigste Ziel beim Kampf gegen die Klimakrise. Hierbei spielt unter anderem Photovoltaik (PV) eine wichtige Rolle. Eine differenzierte Betrachtung dieser Technologie mithilfe der Mathematik steht im Kern dieser Unterrichtseinheit. Mit Blick auf Deutschland werden zunächst mögliche Leistungseinbußen durch Ausrichtung und Dachneigung fest installierter PV-Anlagen mit Mitteln der Analytischen Geometrie untersucht. Einen ersten Eindruck über den Zusammenhang von Einstrahlwinkel (auf eine horizontale Fläche) und Leistung gewinnen die Lernenden durch die Auswertung von Experimenten (LUDWIG & OLDENBURG 2007). Dabei kann die Temperaturabhängigkeit der Leistungsabgabe für unsere Klimazone ebenso wie die Wirkung diffuser Strahlung vernachlässigt werden.

Für eine realistische Beurteilung ist zum einen zu klären, wie aus dem Sonnenbahndiagramm eines Orts exemplarisch für verschiedene Tageszeiten der Richtungsvektor der direkten Sonneneinstrahlung berechnet wird. Dazu bedarf es der Umrechnung von Kugelkoordinaten in kartesische Koordinaten durch die Lernenden. Alternativ kann die Lehrkraft den Vektor auch in allgemeiner Schreibweise vorgeben. Zum anderen ist mithilfe der Analytischen Geometrie zu erarbeiten, mit welchem Winkel die Sonnenstrahlen auf die geneigte Fläche einer PV-Anlage fallen. Im Anschluss klären die Lernenden arbeitsteilig, bei welcher Zellenneigung an einem Sommer- oder Wintertag die Leistungseinbußen möglichst klein sind. Abschließend kann über die Berechnung des Tagesertrags einer Anlage (durch Integration der Leistung über einen Tagesverlauf) zusätzlich die Verknüpfung mit der Analysis gelingen.

Vergleichend und zur Differenzierung sind Untersuchungen in sonnenreichen Regionen (z. B. Marokko, Griechenland etc.) möglich (Perspektivenwechsel). Dabei sind zusätzliche Einfluss-Parameter wie die Temperatur oder auch Staubbedeckung zu betrachten. Auch könnte die Nachführung von Modulen nach dem Sonnenstand mathematisch untersucht werden, wie sie z. B. in der Wüste Gobi in einer 2,2 GW großen Freiflächenanlage praktiziert wird.

Weiterführende Literatur

- LUDWIG, M. & OLDENBURG, R. (2007): Lernen durch Experimentieren. In: Mathematik lehren, 141, 4–11.
- QUASCHNING, V. (1996): Simulation der Abschattungsverluste bei solarelektrischen Systemen. Verlag Dr. Köster. <https://www.volker-quaschning.de/downloads/abschattungsverluste.pdf>.
- SCHÖNBRODT, S. (2021): Erneuerbare Energien – Modellierung und Optimierung eines Solarkraftwerkes. In: FRANK, M. & ROECKERATH, C. (Hrsg.), Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht (Bd. 9, S. 15–69). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63647-3_3.

Unterrichtsskizze 2

Titel: Steigender Meeresspiegel und schwindendes Meereis – Messreihen zum Klimawandel untersuchen

Nachhaltiges Entwicklungsziel (SDG): 13

OR-Themenbereich: 11 Klimawandel, Verschmutzung und Biodiversitätsverlust

Kompetenzen (Klammern verweisen auf die fachbezogenen Teilkompetenzen aus Kap. 6.15.2)

Die Lernenden können ...

- Fachtexte mathematisch kritisch und sinnentnehmend erfassen, um das Potenzial der dahinterliegenden mathematischen Konzepte für BNE zu erkennen. (1.2)
- Prognosen für Fragen aus BNE-Kontexten entwickeln und daraus mathematisch Hypothesen ableiten. (3.3)
- grafische Darstellungen und Tabellen mit Daten zu globalen Fragen auswerten und reflektieren. (5.2)
- vorgefertigte Modellierungen zu Entwicklungsfragen der Globalisierung kritisch hinterfragen und Ergebnisse zur Konsensbildung verwenden. (6.1)
- mathematische Methoden zur Risikoabschätzung einsetzen, um insbesondere in offenen und innovativen Situationen kritisch Stellung nehmen zu können. (10.3)

Messreihen zum globalen Meeresspiegelanstieg (z.B. zu den Small Island Developing States, SIDS) und zur abnehmenden Fläche des Meereises zeigen, wie auch die globalen Durchschnittstemperaturanstiege, deutliche Veränderungen des Klimas an. Für die beiden Indikatoren gibt es umfangreiche Zeitreihen, mit denen die Lernenden tabellarische und grafische Darstellungen entwickeln und auswerten. Diese Zeitreihen können als Textdateien aus dem Internet heruntergeladen und dann in Excel®- oder GeoGebra®-Tabellen umgewandelt werden (Förderung der digitalen Kompetenzen). Wenn die Lernenden keine oder wenig Erfahrung damit haben, kann die Lehrperson die fertige Datei zur Verfügung stellen.

Die Lernenden reflektieren auf diese Weise die Ergebnisse relativ aktueller Studien und stellen mit den Daten eigene Untersuchungen an. Dies geschieht am besten in Kleingruppenarbeit, um die individuellen Kompetenzen der Teilnehmenden zu nutzen und die allgemeinen Kompetenzen „Kommunizieren und Argumentieren“ weiterzuentwickeln. Zusätzlich können die Lernenden ihr Vorwissen ergänzen, indem sie in (Online-)Zeitungen und Zeitschriften nach populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu den Studien suchen.

Nachdem die Gruppen die Daten zunächst geeignet dargestellt haben, experimentieren sie mit verschiedenen Trendfunktionen. Dabei ist es hilfreich, aber nicht notwendig, dass die Lernenden bereits das Prinzip der linearen Regression kennengelernt haben. Ansonsten benutzen sie diese Werkzeuge als Blackbox und den Regressionskoeffizienten als Entscheidungshilfe für den besten Funktionsansatz. Bei der Diskussion der Ergebnisse lautet eine bedeutende Erkenntnis, dass eine Prognose (vor allem über einen so langen Zeitraum) voraussetzt, dass die im Moment beobachteten Entwicklungen bis zum Prognosezeitpunkt anhalten.

Beim Meeresspiegelanstieg ging man lange Zeit und zum Teil auch noch heute von einem linearen Anstieg aus. Während die Studie der University of Colorado (NEREM ET AL. 2018) einen quadratischen Anstieg des Meeresspiegels anzeigt, hebt der Guar-

dian (WANLESS 2021) auf den exponentiellen Ansatz und das Prinzip der Verdopplungszeit ab. Ein Vergleich der Ansätze bildet den Abschluss dieser Unterrichtseinheit, um eigene Risikoabschätzungen zu erstellen und einzuordnen.

Weiterführende Literatur

- MUED e. V. (2018): Meeresspiegel steigt schneller als gedacht. Arbeitsblatt des Monats April. <https://www.die-mueden.de/mued-material/lager/abdm/ab-18-04.pdf>.
- NEREM, R. S., BECKLEY, B. D., FASULLO, J. T., HAMLINGTON, B. D., MASTERS, D. & MITCHUM, G. T. (2018): Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>.
- POHLKAMP, S. (2021): Daten zum Arktik-Eis auswerten. Digitale Visualisierungen erkunden und bewerten. In: Mathematik lehren, 227, 34 – 37.
- WANLESS, H. R. (2021): Sea levels are going to rise by at least 20 ft. We can do something about it. <https://www.theguardian.com/environment/commentisfree/2021/apr/13/sea-level-rise-climate-emergency-harold-wanless>.

Unterrichtsskizze 3

Titel: Eine Injektion gegen HIV – eine große Hilfe für Frauen nicht nur in Südafrika

Nachhaltiges Entwicklungsziel (SDG): 3

OR-Themenbereich: 6 Gesundheit, Krankheit, Pandemien und One Health

Kompetenzen (Klammern verweisen auf die fachbezogenen Teilkompetenzen aus Kap. 6.15.2)

Die Lernenden können ...

- Prognosen für Fragen aus BNE-Kontexten entwickeln und daraus mathematisch Hypothesen ableiten. (3.3)
- Gemeinsamkeiten und Unterschiede statischer bzw. dynamischer Repräsentationsarten und Darstellungsformen beurteilen. (5.1)
- mathematische Konzepte zur Bewertung zielgruppenorientierter Argumentationen in BNE-Kontexten einsetzen. (5.3)
- mathematische Methoden zur Risikoabschätzung einsetzen, um insbesondere in offenen und innovativen Situationen kritisch Stellung zu nehmen. (10.3)

Die Lernenden erkennen an der HPTN-084-Studie mit 3223 Frauen aus Südafrika beispielhaft, wie die Bedingungen bei einer Fall-Kontroll-Studie gewählt werden müssen, damit sie tatsächlich als doppelblind angesehen werden kann. Sie werten die Studie – vereinfacht – mit einem Hypothesentest aus, bei dem die Ergebnisse der Kontrollgruppe als Grundlage für die Formulierung der Nullhypothese dienen. Wenn z.B. in einem Kurs mit erhöhtem Anforderungsniveau der exakte Test nach Fisher zur Verfügung steht, kann die Auswertung nach diesem gebräuchlichen Verfahren geschehen.

Sie wechseln ihre Perspektive, indem sie sich zunächst in die Situation der Studienleitenden (Warum wird die Studie abgebrochen?) und vor allem in die der betroffenen Frauen (Warum ist die Injektion abgesehen von der Risikoreduktion für die betroffenen Frauen sehr wichtig?) versetzen.

Vergleichend können die Lernenden die Studienbedingungen bei zwei entsprechenden Studien (ATLAS, FLAIR; siehe WARPAKOWSKI 2020) recherchieren. Dabei lernen sie,

aus Online-Veröffentlichungen die relevanten Daten zu extrahieren und die Rahmenbedingungen kritisch in den Blick zu nehmen. Sie erkennen, dass Menschen in Europa – und verstärkt Frauen in Südafrika – am HIV-Stigma leiden und froh sind über die organisatorischen Vereinfachungen, die eine Injektion alle vier oder acht Wochen mit sich bringt.

Weiterführende Literatur

- BARKHAM, P., GODWIN, R., TAIT, A. & WATERS, J. (2020): Reasons to be hopeful in 2021. <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/27/reasons-to-be-hopeful>.
- HIV PREVENTION TRIALS NETWORK (o.J.): Studienseite zu HPTN 084. <https://www.hptn.org/research/studies/hptn084>.
- MUED e. V. (2020): Kein Ende der Epidemie. Online für Mitgliederinnen und Mitglieder: <https://www.mued.de/unterrichtsmaterial>.
- WARPAKOWSKI, A. (2020): HIV-Infektion: Monatliche Injektion ist so wirksam wie eine tägliche Tabletteneinnahme. Deutsches Ärzteblatt, 117 (17). <https://www.aerzteblatt.de/archiv/213695/HIV-Infektion-Monatliche-Injektion-ist-so-wirksam-wie-eine-taegliche-Tabletteneinnahme>.
- OUR WORLD IN DATA (o.J.): HIV/AIDS. A global epidemic and the leading cause of death in some countries. <https://ourworldindata.org/hiv-aids>.

6.15.5 Unterrichtsbeispiel

CO₂-Budget

Die Klimakrise ist zu einer der dringendsten globalen Herausforderungen unserer Zeit geworden und hat eine intensive gesellschaftliche Diskussion ausgelöst. Insbesondere bei der jungen Generation hat sie ein starkes Bewusstsein für die aktuell drängenden Probleme geschaffen. Die Relevanz des Umwelt- und Klimaschutzes für die junge Generation wurde u. a. in der 18. Shell-Jugendstudie deutlich herausgestellt, in der fast drei von vier Jugendlichen die Umweltverschmutzung als das Hauptproblem der gegenwärtigen Zeit benennen (OVERWIEN 2021). Zudem betrachten 65 Prozent der Jugendlichen die Klimakrise als zentrale Herausforderung. Eine repräsentative Onlinebefragung von Jugendlichen durch das SINUS-Institut zeigt, dass 51 Prozent der Jugendlichen das Thema „Klimawandel“ als sehr wichtig erachten (MÖLLER-SLAWINSKI 2022).

Lernende für diese Herausforderungen in ihrer Komplexität zu sensibilisieren und sie zur Partizipation zu befähigen, ist ein zentrales Anliegen des Lernbereichs Globale Entwicklung im Rahmen einer BNE. Der Mathematikunterricht kann unter Zuhilfenahme mathematischer Methoden dazu beitragen, evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen, um im gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Kontext handlungsfähig zu sein oder zumindest handlungsfähig zu werden.

Im vorliegenden Unterrichtsbeispiel wird das Ziel verfolgt, sich der Frage „Wie können wir das 1,5-°C-Ziel noch schaffen?“ aus mathematischer Perspektive anzunähern. Das 1,5-°C-Ziel ist Teil des Pariser Klimaabkommens, das 2015 von 195 Staaten beschlossen wurde, um dem menschengemachten Klimawandel entgegenzuwirken (BMZ o.J.). Mathematik soll hier genutzt werden, um Konflikte, beispielsweise im Kontext der „Letzten Generation“, rational zu diskutieren. Der Fokus liegt nicht auf der Bewertung der Methoden dieser Gruppe, sondern auf der mathematischen Bewertung der Forderungen und Argumente im interdisziplinären Kontext hinsichtlich

unterschiedlicher Interessen und Rahmenbedingungen und führt so zu einer Akzentuierung von BNE-Themen für den Mathematikunterricht.

Das Klima hat sich seit Bestehen der Erde kontinuierlich verändert. Klimaänderungen lassen sich auf ein komplexes Zusammenspiel vier wesentlicher Ursachen zurückführen: Änderungen der ankommenden Sonnenstrahlung, Änderungen der reflektierten Sonnenstrahlung, Änderungen der in den Weltraum abgegebenen Wärmestrahlung und interne Variabilität des Klimasystems (RAHMSTORF & SCHELLNHUBER 2018). Blicken wir auf die vergangenen 100 Jahre, können wir einen rapiden Wandel unseres Klimas feststellen, der mit der atmosphärischen CO_2 -Konzentration korreliert (UMWELTBUNDESAMT 2021). Dies stellt zusammen mit dem gesellschaftlichen Diskurs über möglich – notwendige – Maßnahmen (z. B. Forderungen eines Tempolimits, Förderung des ÖPNV) die Problemstellung der Unterrichtssequenz dar.

Um Lernenden aufzuzeigen, dass es möglich ist, evidenzbasierte Aussagen zu treffen, werden als Grundlage die komplexen Zusammenhänge der Erderwärmung im Verlauf der Unterrichtssequenz verdeutlicht. Dazu werden Themen wie Temperatur-anomalien, CO_2 -Emissionen und -Konzentration, u. a. unter dem Blickwinkel der prozessbezogenen Kompetenz „mathematisches Modellieren“, und ihr Zusammenhang an die mathematischen Inhalte der Sek II angebunden.

Nach der Klärung der wissenschaftlichen Grundlagen schließt die Unterrichtssequenz mit einer Diskussion zu der Frage „Wie können wir das 1,5-°C-Ziel noch schaffen?“ und zum CO_2 -Budget sowie mit verschiedenen Szenarien und deren bisheriger Realisierung durch entsprechende Maßnahmen unter Rückgriff auf die in den vorherigen Stunden erarbeiteten Erkenntnisse.

| **Tabelle 59:** Kompetenzeinschätzung

Aufgabe	Spezifische Kompetenz Die Lernenden können ...	Fachbezogene Teilkompetenzen
1	... Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der beiden Graphen durch geeignete mathematische Fragen erarbeiten und einen Zusammenhang zwischen CO_2 -Konzentration und Temperatur ableiten.	2.2
	... die Grenzen der Aussagekraft der Korrelation der CO_2 -Konzentration mit Temperaturanomalien reflektieren.	3.3, 6.2, 6.3
	... Prognosen für Fragen zur Einhaltung des 1,5-°C-Ziels erarbeiten und daraus mathematisch Hypothesen ableiten.	2.3
2	... Fachtexte zu Temperaturanomalien mathematisch kritisch und sinnentnehmend erfassen sowie Vor- und Nachteile der Verwendung von Temperaturanomalien im Gegensatz zu absoluten Temperaturen bei der Erderwärmung herausarbeiten.	1.2
	... die Qualität der auf Schätzungen beruhenden Daten zu Temperaturanomalien aus unterschiedlichen Quellen einschätzen.	1.4
	... Datensätze zu Temperaturanomalien mittels gleitender Mittelwerte glätten und die Auswirkungen der zugrunde liegenden mathematischen Methode und der Wahl des Zeitraums auf die Daten erklären.	2.3, 3.2, 4.2

Aufgabe	Spezifische Kompetenz Die Lernenden können ...	Fachbezogene Teilkompetenzen
2	... die Möglichkeiten und Grenzen von Konfidenzintervallen und gleitenden Mittelwerten unter Verwendung digitaler Mathematikwerkzeuge zur Analyse der Daten begreifen.	3.1
3	... aus der mathematischen Modellierung zur Temperaturentwicklung in Abhängigkeit des CO ₂ -Ausstoßes schließen, dass zur Reduktion der globalen Erwärmung die Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen.	2.3, 4.2
	... die Implikation der mathematischen Modellierung mit und ohne anthropogene Treibhausgaskonzentration zur Frage nach dem menschengemachten Klimawandel erklären.	5.2, 6.2
	... mithilfe mathematischer Verfahren Aussagen in den Sachstandsberichten des IPCC (z.B. 2013), bspw. dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 bis 100 Prozent der menschliche Einfluss die dominante Ursache der Erderwärmung ist, kritisch bewerten.	8.1, 11.1
4	... aus der grafischen Darstellung der 10-Jahre-Durchschnittswerte der jährlichen CO ₂ -Zuflüsse und -Abflüsse in die Atmosphäre die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Bereichen (Atmosphäre, Ozean und Biosphäre an Land) erarbeiten.	1.3
	... die inhaltliche Bedeutung der Aussage „9,9 ± 0,5“ (Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr) interpretieren.	1.4
5	... Konzepte und Verfahren der Mathematik als Werkzeug anwenden, um die Aussage des IPPC einzuordnen, dass mit hohem Vertrauen eine nahezu lineare Beziehung zwischen den kumulativen anthropogenen CO ₂ -Emissionen und der von ihnen verursachten globalen Erwärmung bezogen auf die Durchschnittstemperaturänderung von 1851 – 1900 besteht.	8.1
	... die Entwicklung der globalen Erwärmung in Abhängigkeit von den kumulierten CO ₂ -Emissionen grafisch darstellen.	5.2
	... die Güte und Grenzen der linearen Regression zur Beschreibung der globalen Erwärmung in Abhängigkeit von den kumulierten CO ₂ -Emissionen reflektieren.	2.1, 3.1, 3.2
	... mathematische Konzepte und Verfahren zur Generierung des CO ₂ -Budgets anwenden, das die Menge der noch verfügbaren CO ₂ -Emissionen zur Einhaltung des 1,5-°C-Ziels angibt.	10.1
6	... die Kritik an diesem quasi linearen Zusammenhang im interdisziplinären Kontext und in Diskussionen beurteilen.	7.2
	... mithilfe mathematischer Überlegungen begründen, dass die Gegenannahme eines logarithmischen Zusammenhangs dem quasi linearen Zusammenhang nicht widerspricht, da der IPCC den linearen Zusammenhang nur bis zur Verdopplung der vorindustriellen Konzentration annimmt.	8.1, 8.2

Aufgabe	Spezifische Kompetenz Die Lernenden können ...	Fachbezogene Teilkompetenzen
7	... unter Zuhilfenahme mathematischer Methoden Konsequenzen der derzeitigen ansteigenden CO ₂ -Emissionen hinsichtlich der Einhaltung des CO ₂ -Budgets realisieren und evaluieren.	11.2
	... mithilfe mathematischer Methoden evidenzbasierte Entscheidungen treffen, wie und ob wir das 1,5-°C-Ziel noch erreichen können.	10.3

6.15.5.1 Unterrichtsverlauf, Themenbereiche und Arbeitsaufträge

Das Thema „CO₂-Budget“ eignet sich für ein Unterrichtsprojekt im Fach Mathematik der 11. Jahrgangsstufe. Im Folgenden wird exemplarisch ein Unterrichtsverlauf beschrieben.

6.15.5.2 Einstiegsphase (1 Stunde)

Das Thema Klimaschutz hat für die junge Generation eine hohe Relevanz. Der Diskurs um die Aktionen der „Letzen Generation“ soll die Lernenden motivieren, sich inhaltlich mit dem Themenkomplex auseinanderzusetzen. Gut geeignet sind dafür beispielsweise Videos aus Diskussionsrunden, wie z.B. von TV-Sendungen oder Nachrichten und Ausschnitte einer Dokumentation.

In dem Einstiegsgespräch soll der Fokus nicht auf die Arten der Proteste gelegt werden. Vielmehr soll das Aufgreifen der Proteste dazu motivieren, die Ursachen-Komplexität des Klimawandels sowie die Maßnahmen, um diesem entgegenzuwirken, genauer zu beleuchten.

In der Aufgabe dieser Stunde sollen Lernende grafische Darstellungen zur CO₂-Konzentration und Temperatur analysieren und interpretieren, wobei sie insbesondere Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Graphen herausarbeiten sollen. Aus diesen sollen sie Hypothesen zum Zusammenhang zwischen CO₂-Konzentration und dem Temperaturanstieg ableiten (3.3). Gleichzeitig sollen Grenzen dieses Vergleichs durch die Unterscheidung von Korrelation und Kausalität herausgearbeitet werden (2.3).

Die aufgestellten Hypothesen zum Zusammenhang zwischen CO₂-Konzentration und Temperatur bilden mit dem gesellschaftlichen Diskurs über notwendige Maßnahmen den Kern der Unterrichtssequenz „Wie können wir das 1,5-°C-Ziel noch schaffen?“.

6.15.5.3 Erarbeitung des Problems: Datenanalyse und Modellierung (fünf Stunden)

In diesem Teil der Unterrichtssequenz wird der Zusammenhang zwischen CO₂-Konzentration und dem Temperaturanstieg genauer beleuchtet. Im Fokus steht die Beurteilung der Güte und Grenzen mathematischer Modelle zur Beschreibung und Analyse der komplexen Zusammenhänge im Themenfeld Klimawandel. Die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen teilt sich in fünf Unterrichtseinheiten:

1. Temperaturanomalien,
2. Korrelation oder Kausalität – der menschliche Beitrag zum Klimawandel,

3. Kohlenstoffkreislauf (Sekundarstufe 1),
4. Funktionale Zusammenhänge – CO_2 - und Temperaturanstieg quantifizieren; CO_2 -Budget,
5. Modellkritik TCRE.

Temperaturanomalien

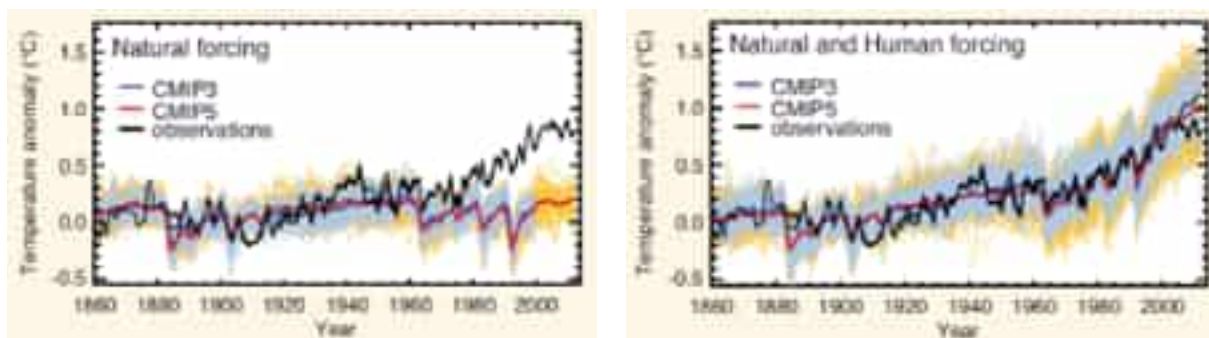
In dieser Stunde beschäftigen sich die Lernenden mit Temperaturanomalien. Sie sollen den Begriff selbstständig recherchieren sowie Vor- und Nachteile der Verwendung von Temperaturanomalien im Gegensatz zu absoluten Temperaturen herausarbeiten (1.2). Im Anschluss stellen die Lernenden die Datensätze von Berkeley Earth mit digitalen Werkzeugen, z.B. einem Tabellenkalkulationsprogramm, grafisch dar.

Die Ergebnisse mathematischer Modellierungen hängen wesentlich von den zugrunde liegenden Daten und den getroffenen Annahmen ab. Entsprechend ist es notwendig, die Qualität der Daten sowie Annahmen in der Modellierung und deren Auswirkungen kritisch zu reflektieren. Dies sollen die Lernenden anhand der auf Schätzungen beruhenden Temperaturanomalien exemplarisch unter Verwendung von Konfidenzintervallen und gleitenden Mittelwerten erarbeiten (1.4). Dabei sollen sie nicht nur mit digitalen Werkzeugen Darstellungen erzeugen, sondern vor allem die dahinterliegenden mathematischen Konzepte erarbeiten und Möglichkeiten sowie Grenzen der Resultate der mathematischen Überlegungen innermathematisch und im interdisziplinären Kontext diskutieren und beurteilen.

Korrelation oder Kausalität – der menschliche Beitrag zum Klimawandel

In der folgenden Stunde steht die Frage nach dem menschlichen Beitrag zur globalen Erwärmung im Fokus. Die Lernenden sollen zwei Modellierungen zur Temperaturentwicklung und den gemessenen Daten vergleichen (Abbildung 35).

Abbildung 35: Temperaturanomalien (Schwarz: reale Messungen, Rot: Modellierung mit Treibhausgasen durch den Menschen, Blau: Modellierung ohne Einfluss des Menschen; Quelle: IPCC 2013, S. 895)



Dabei bewerten die Lernenden vor dem Hintergrund des Modellbildungsprozesses, inwieweit die Modellierung und deren Resultate die Aussage stützen, dass der größte Teil der globalen Erwärmung durch die anthropogene Treibhausgaskonzentration verursacht wird (6.1). Dies unterstützt die Lernenden dabei, die Aussage des 5. Sachstandsberichts des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC 2013), wonach mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 bis 100 Prozent der menschliche Einfluss die dominante Ursache der Erderwärmung ist, kritisch zu erörtern (8.1, 11.1) (IPCC 2013). In diesem Zusammenhang sollte darauf hingewiesen werden, dass eine Aktualisierung der Sachstandsberichte des IPCC regelmäßig stattfindet. Somit sind auch aktuelle Daten und aktualisierte Darstellungen in einschlägigen Quellen verfügbar.

Nachdem durch die Bewertung des Modells der Ausstoß von Treibhausgasen als wesentlicher Faktor der globalen Erwärmung identifiziert werden konnte, wird im Folgenden das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid betrachtet, das nach Wasserdampf derzeit den größten Einfluss auf den Treibhauseffekt hat. Wasserdampf verursacht zu etwa zwei Dritteln den natürlichen Treibhauseffekt und spielt beim anthropogenen Klimawandel eine geringere Rolle, da sich die Konzentration des Wasserdampfs durch die Abhängigkeit der Temperatur wenig verändert hat (UMWELTBUNDESAMT 2021).

Kohlenstoffkreislauf

Um die Auswirkungen von CO_2 -Emissionen zu verstehen, wird zunächst der Kohlenstoffkreislauf behandelt. Entsprechende mathematische Inhalte sind an die Sek I angebunden. Um die Emissionen zu quantifizieren, wird die „Erde“ vereinfacht als geschlossenes System betrachtet. Dabei wird die Zufuhr von Kohlenstoff beispielsweise durch Meteorite oder kernchemische Vorgänge nicht betrachtet. Mit dieser Vereinfachung ist der Gesamtkohlenstoffgehalt des Systems „Erde“ als konstant zu betrachten. Mit dieser Annahme erarbeiten die Lernenden aus der grafischen Darstellung der 10-Jahre-Durchschnittswerte der jährlichen CO_2 -Zuflüsse und -Abflüsse in die Atmosphäre die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Bereichen (Atmosphäre, Ozean und Biosphäre an Land) (1.3). Die Daten beruhen auf den Schätzungen des Global Carbon Project und können somit nicht exakt angegeben werden (FRIEDLINGSTEIN ET AL. 2022). Die Lernenden sollen die inhaltliche Bedeutung der Aussage „ $9,9 \pm 0,5$ “ (Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr) interpretieren.

Über die Gegenüberstellung der Brutto- und Netto- CO_2 -Emissionen wird zur Änderung der anthropogenen CO_2 -Konzentration übergeleitet. Bei der Auswirkung der abgeschätzten Emissionen mit ihrem Verbleib wird die Umrechnung der CO_2 -Masse bzw. C-Masse in der Atmosphäre in die Konzentration (in ppm) abschließend thematisiert.

Funktionale Zusammenhänge – CO_2 - und Temperaturanstieg quantifizieren, CO_2 -Budget

Mit diesem Hintergrundwissen werden funktionale Zusammenhänge von atmosphärischer CO_2 -Konzentration und -Emission sowie der Temperaturentwicklung näher betrachtet. Die Lernenden erklären die Zusammenhänge zwischen den folgenden fünf Funktionen und begründen, welche Funktionen für die Betrachtung der Erderwärmung besonders relevant sind:

- atmosphärische CO_2 -Konzentration in Abhängigkeit der Zeit,
- kumulative Netto- CO_2 -Emission in Abhängigkeit der Zeit,
- globale Netto- CO_2 -Emissionspfade in Abhängigkeit der Zeit,
- kumulative Brutto- CO_2 -Emission in Abhängigkeit der Zeit,
- globale Netto-Brutto-Emissionspfade in Abhängigkeit der Zeit.

In der interaktiven Darstellung des IPCC⁷ überprüfen die Lernenden ihre Vermutungen. In der Darstellung ist auch der Einfluss von Non- CO_2 Radiative Forcing aufgeführt. Darunter fallen weitere Treibhausgase wie Methan und Lachgas, die im Kontext der Erderwärmung nicht zu vernachlässigen sind. Die Lernenden sollen mithilfe der interaktiven Grafik erklären, warum auch dieser Faktor neben CO_2 -Emissionen berücksichtigt werden sollte.

⁷ Siehe <https://apps.ipcc.ch/report/sr15/fig1/index.html>.

Aufbauend auf den bisherigen theoretischen Grundlagen soll die Aussage des IPCC untersucht werden. Diese besagt, dass sehr wahrscheinlich eine nahezu lineare Beziehung zwischen den kumulativen anthropogenen CO_2 -Emissionen und der von ihnen verursachten globalen Erwärmung bezogen auf die Durchschnittstemperaturänderung der Jahre 1851 – 1900 besteht (8.1). Um die Beziehung der beiden Größen zu quantifizieren, stellen die Lernenden die Entwicklung der globalen Erwärmung in Abhängigkeit von den kumulierten CO_2 -Emissionen grafisch dar (5.2). In diesem Zusammenhang diskutieren sie die Güte und Grenzen der linearen Regression zur Beschreibung der globalen Erwärmung in Abhängigkeit von den kumulierten CO_2 -Emissionen (2.1). Ausgehend von der modellierten Beziehung leiten die Lernenden das Modell „ CO_2 -Budget“ ab, das die Menge der noch verfügbaren CO_2 -Emissionen zur Einhaltung des $1,5^\circ\text{C}$ -Ziels angibt (10.1). Sie sollen ausgehend von ihrer Modellierung einen Wert für das CO_2 -Budget ab 2020 bestimmen.

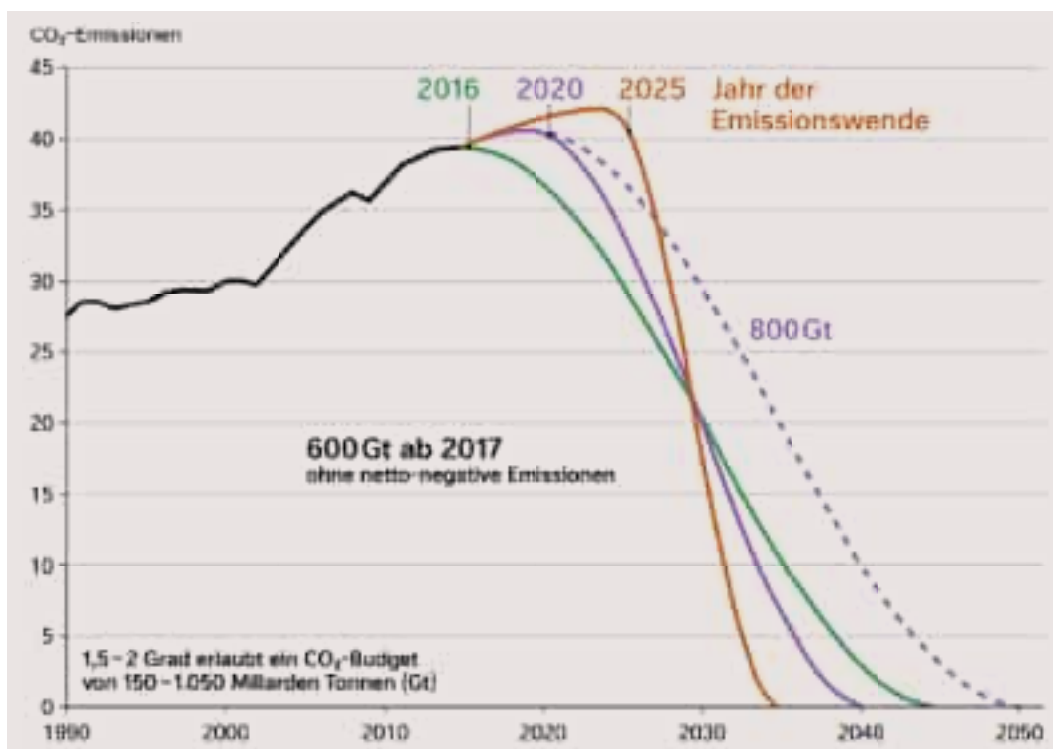
Kritik am TCRE

Dem wird die Kritik an diesem quasi linearen Zusammenhang gegenübergestellt (7.2). Mithilfe mathematischer Methoden begründen die Lernenden, dass die Gegenannahme eines logarithmischen Zusammenhangs dem quasi linearen Zusammenhang nicht widerspricht, da der IPCC den linearen Zusammenhang nur bis zur Verdoppelung der vorindustriellen Konzentration annimmt (8.1, 8.2). Nach Klärung der wissenschaftlichen Grundlagen schließt die Unterrichtssequenz mit einer Erörterung der Frage „Wie können wir das $1,5^\circ\text{C}$ -Ziel noch schaffen?“ und des CO_2 -Budgets ab.

6.15.5.4 Reflexionsphase und Ausblick (eine Stunde)

Abschließend wird eine reflektierende Rückschau gehalten und eine Auswertung vorgenommen. Als Grundlage dient die im September 2017 erschienene nachfolgende Grafik, die zwei Studien einbezieht (DAMBECK 2017).

| Abbildung 36: Emissionsszenarien (CC BY-SA 4.0)



Die Lernenden erklären in eigenen Worten, welche Daten und Szenarien diese Grafik zeigt. Sie beschreiben und interpretieren die Szenarien unter Rückbezug auf die Erkenntnisse der vorangegangenen Unterrichtsstunden. Mithilfe der Grafik bestimmen die Lernenden das CO_2 -Budget der Szenarien für die Jahre 2018, 2020 und 2023. Die Bedingungen der Budgeteinhaltung erfordern, den Blick auf das bestimmte Integral als Fläche unter dem Funktionsgraphen und die zum Sachkontext passende Deutung des bestimmten Integrals als emittierte CO_2 -Menge zu richten. Dabei wird auf den Unterschied der beiden Studien (800 Gt und 600 Gt) eingegangen, deren CO_2 -Budget-Schätzungen nicht so weit auseinanderliegen, wie es auf den ersten Blick scheint, da diese sich auf verschiedene Zeitpunkte beziehen. Anschließend vergleichen die Lernenden die Ergebnisse für das Jahr 2020 mit dem Ergebnis ihrer eigenen Modellierung aus der Aufgabe zur linearen Beziehung von Temperaturanstieg und kumulierten CO_2 -Emissionen. Im Anschluss wird die reale Entwicklung der Emissionen der letzten zehn Jahre den in der Grafik für den Zeitraum ab 2014 dargestellten Projektionen gegenübergestellt. Mit Ausnahme einer kurzzeitigen, durch die Einschränkungen infolge der Coronapandemie bedingten Emissionsabnahme steigen die Emissionen weiterhin. ROCKSTRÖM (2017) schlägt ein weiteres Szenario zur Emission von Treibhausgasen vor: Alle zehn Jahre halbieren sich die Emissionen. Die Lernenden untersuchen, ob bei diesem Szenario die Klimaneutralität bis 2050 erreicht und das CO_2 -Budget eingehalten wird und das Szenario realistisch ist. Das in der Aufgabenstellung beschriebene Szenario einer exponentiellen Abnahme der Emissionen impliziert mathematisch, dass die Nullemission nicht erreicht wird, was im Sachkontext jedoch durchaus möglich ist.

Zum Abschluss der Stunde und der gesamten Sequenz zum Klimawandel diskutieren die Lernenden vor dem Hintergrund der bisherigen mathematischen Bearbeitungen, wie und ob wir das $1,5^\circ\text{C}$ -Ziel noch erreichen können.

6.15.6 Literatur

Wichtige KMK-Schriften zu dem Thema

- KMK – KULTUSMINISTERKONFERENZ (2017): Zur Situation und zu Perspektiven der Bildung für nachhaltige Entwicklung (Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017). https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf.
- KMK – KULTUSMINISTERKONFERENZ (2012): Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.10.2012). https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_10_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf.

Allgemeines Literaturverzeichnis

- BAUMERT, J. & KÖLLER, O. (2000): Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In: BAUMERT, J., BOS, W. & LEHRMANN, R. (Hrsg.), TIMSS/III – Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der gymnasialen Oberstufe (S. 271 – 315). Leske + Budrich.
- BEHÖRDE FÜR SCHULE UND BERUFSBILDUNG HAMBURG (2010): Globales Lernen. Hamburger Unterrichtsmodelle zum KMK-Orientierungsrahmen Globale Entwicklung.
- BIEBER, C. & RUF, T. (2005): Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resource consumers. In: Journal of Applied Ecology, 42, 1203 – 1213. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01094.x>.

- BMZ – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG (o.J.): Klimaabkommen von Paris. <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klima-abkommen-von-paris-14602>.
- BÖER, H. (2007): Optimale Kästen, Boxen, Sammlung Extremwertprobleme. In: MUED-Broschüre, Appelhülsen, 19 – 36.
- BÖER, H. (2019): Was ist der Erdüberlastungstag? In: *mathematik lehren*, 212, 26 – 29.
- BÖER, H. (2019): Insektenschwund. In: GRAFENHOFER, I. & MAASS, J. (Hrsg.), *Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 6* (ISTRON-Schriftenreihe). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24297-8_5.
- BRUDER, R. & WEHRSE T. (2014): Schulversuch MABIKOM. In: *Der Mathematikunterricht*, 60 (3), 14 – 15.
- BRUDER, R. (2003): Konstruieren, auswählen – begleiten. Über den Umgang mit Aufgaben. In: *Aufgaben, Jahresheft 2003*, 12 – 15.
- BÜCHTER, T., GÜNSTER & S. SILLER, H.-S. (2021): Begabungsförderung im Rahmen von Schülerprojekttagen: Wie berechne ich meinen ökologischen Fußabdruck? In: *Der Mathematik-Unterricht*, 4, 48 – 56.
- CLIMATE INTERACTIVE (2023): Climate Analysis. Online-Simulator zur Interaktion und Exploration von Klimazielen, <https://www.climateinteractive.org/ci-topics/climate-energy/>.
- DAMBECK, H. (2017): CO₂-Budget der Menschheit. Leben am Limit. <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/klimawandel-streit-um-co2-budget-der-menschheit-a-1170186.html>.
- DEWEY, J. (1933): *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. D.C. Heath & Co Publishers.
- FRIEDLINGSTEIN, P., O’SULLIVAN, M., JONES, M. W., ANDREW, R. M., GREGOR, L., HAUCK, J., LE QUÉRÉ, C., LUIJKX, I. T., OLSEN, A., PETERS, G. P., PETERS, W., PONGRATZ, J., SCHWINGSHACKL, C., SITCH, S., CANADELL, J. G., CIAIS, P., JACKSON, R. B., ALIN, S. R., ALKAMA, R., ARNETH, A., ARORA, V. K., BATES, N. R., BECKER, M., BELLOUIN, N., BITTIG, H. C., BOPP, L., CHEVALLIER, F., CHINI, L. P., CRONIN, M., EVANS, W., FALK, S., FEELY, R. A., GASSER, T., GEHLEN, M., GKRTZALIS, T., GLOEGE, L., GRASSI, G., GRUBER, N., GÜRSSES, Ö., HARRIS, I., HEFNER, M., HOUGHTON, R. A., HURTT, G. C., IIDA, Y., ILYINA, T., JAIN, A. K., JERSILD, A., KADONO, K., KATO, E., KENNEDY, D., KLEIN GOLDEWIJK, K., KNAUER, J., KORSBAKKEN, J. I., LANDSCHÜTZER, P., LEFÈVRE, N., LINDSAY, K., LIU, J., LIU, Z., MARLAND, G., MAYOT, N., MCGRATH, M. J., METZL, N., MONACCI, N. M., MUNRO, D. R., NAKAOKA, S.-I., NIWA, Y., O’BRIEN, K., ONO, T., PALMER, P. I., PAN, N., PIERROT, D., POCOCK, K., POULTER, B., RESPLANDY, L., ROBERTSON, E., RÖDENBECK, C., RODRIGUEZ, C., ROSAN, T. M., SCHWINGER, J., SÉFÉRIAN, R., SHUTLER, J. D., SKJELVAN, I., STEINHOFF, T., SUN, Q., SUTTON, A. J., SWEENEY, C., TAKAO, S., TANHUA, T., TANS, P. P., TIAN, X., TIAN, H., TILBROOK, B., TSUJINO, H., TUBIELLO, F., VAN DER WERF, G. R., WALKER, A. P., WANINKHOF, R., WHITEHEAD, C., WILLSTRAND WRANNE, A., WRIGHT, R., YUAN, W., YUE, C., YUE, X., ZAEHLE, S., ZENG, J. & ZHENG, B. (2022): Global Carbon Budget 2022. In: *Earth System Science Data*, 14, 4811 – 4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
- FROHN, D. & SALLE, A. (2022): Gerrymandering – Ungerechtigkeiten beim Wahlkreiszuschnitt. In: *mathematik lehren*, 230, 26 – 29.
- GROSS, J. & LENGNINK, K. (2024): Statistisches Mündigwerden – dem Gender Pay Gap auf der Spur. In: *mathematik lehren*, 245, 39 – 44.
- HEITZER, J. & POHLKAMP, S. (2020): Sitzverteilungsverfahren als Beispiel normativer Modellierung par excellence. In: *MNU Journal*, 3/2020, 217 – 221.
- HEYMANN, H. W. (1996^a): Mathematikunterricht in der Gymnasialen Oberstufe. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 42, 541 – 556.
- HEYMANN, H. W. (1996^b): *Allgemeinbildung und Mathematik*. Beltz.

- IPCC – THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013): Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hrsg. VON STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G. K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. & MIDGLEY, P. M. Cambridge University Press.
- ISB – STAATSWINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT UND BILDUNGSFORSCHUNG MÜNCHEN (2020): Bildung für nachhaltige Entwicklung (Umweltbildung, Globales Lernen). <https://www.lehrplanplus.bayern.de/uebergreifende-ziele/textabsatz/24777>.
- JAHNKE, T. (1998): Bundestagswahlen – von der Wahl zur Sitzverteilung. In: mathematik lehren, 88, 55 – 58.
- JUST, J., MÜNCH, K., MATHEIS, P., MARTIN, R. & SILLER, H.-S. (2025): Wer ist eigentlich arm? Güte und Grenzen mathematischer Modelle zur Erfassung von Armut. In: SILLER, H.-S. & VORHÖLTER, K. (Hrsg.), Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 11 (ISTRON-Schriftenreihe). Springer Spektrum.
- JUST, J., SILLER, H.-S. & VORHÖLTER, K. (2022): Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Mathematikunterricht am Beispiel des Themas Klima. In: MNU Journal, 76 (6), 456 – 463.
- KRAUTHAUSEN, G. & SCHERER, P. (2014): Natürliche Differenzierung im Mathematikunterricht. Kallmeyer.
- KRÜGER, K. (2016): Wie lange reicht das Öl? In: mathematik lehren, 194, 39 – 45.
- KRÜGER, K. & BUDDE, L. (2016): Prognose der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland. In: mathematik lehren, 197, 33 – 39.
- LAFUENTE-LECHUGA, M., CIFUENTES-FAURA, J. & FAURA-MARTÍNEZ, Ú. (2020): Mathematics Applied to the Economy and Sustainable Development Goals: A Necessary Relationship of Dependence. In: Educations Sciences, 10 (11), 339. <https://doi.org/10.3390/educsci10110339>.
- LUDWIG, M. & OLDENBURG, R. (2007): Lernen durch Experimentieren: Handlungsorientierte Zugänge zur Mathematik. In: mathematik lehren, 141, 4 – 11.
- MATHEWELT (2025): Mathe-Welt ML 248 – Demokratiebildung. In: mathematik lehren, 248.
- MÖLLER-SLAWINSKI, H. (2022): Jugendstudie zu Cybermobbing und Klimaangst (2022/2023). <https://www.sinus-institut.de/media-center/studien/barmer-jugendstudie-2022-23>.
- MUED (2021): Verlorene Tonnen Eis. Arbeitsblatt des Monats 5/2021, MUED.
- MUED (2018): Meeresspiegel steigt schneller als gedacht. Arbeitsblatt des Monats 4/2018, MUED.
- MUED (2012): Das Ende des Wachstums. Arbeitsblatt des Monats 6/2012, MUED.
- NOSHADRAVAN, A., CHEAH, L., ROTH, R., FREIRE, F., DIAS, L. & GREGORY, J. (2015): Stochastic comparative assessment of life-cycle greenhouse gas emissions from conventional and electric vehicles. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (6), 854 – 864. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0866-y>.
- OUR WORLD IN DATA (2023): End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture. <https://ourworldindata.org/sdgs/zero-hunger>.
- OLDENBURG, R. (2022): Den Lärm auf Abstand halten. mathematik lehren, 237, 24 – 27.
- OLDENBURG, R. (2006): Computertomographie experimentell. In: MEYER, J. & OLDENBURG, R. (Hrsg.), Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 9: Computer-Anwendungen (Schriftenreihe der ISTRON-Gruppe, S. 103 – 119). Franzbecker.
- OVERWIEN, B. (2021): Shell Jugendstudie (2019). In: ZEP – Zeitschrift für Internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik, 44 (2), 41 – 42. <https://doi.org/10.31244/zep.2021.02.12>.
- PESCHEK, W. (2000): Allgemeinbildung und Mathematik – Eine Einführung in das gleichnamige Buch von Hans Werner Heymann. https://wwwg.aau.at/iff/schule/pfl/ws01/Seminar2_HP_Allgemeinbildung_WP.pdf.

- POHLKAMP, S. (2021): Daten zum Arktis-Eis auswerten. In: *mathematik lehren*, 227, 35 – 37.
- RAHMSTORF, S. & SCHELLNHUBER, H.J. (2018): *Der Klimawandel*. 8. Auflage. C.H. Becks. <https://doi.org/10.17104/9783406726736>.
- REHLICH, H. (2016): Reichtum und Wachstum – Zur Beschreibung und Modellierung von Schieflagen. In: *mathematik lehren*, 194, 12 – 15.
- REISS, K., SÄLZER, C., SCHIEPE-TISKA, A., KLIEME, E. & KÖLLER, O. (2016): PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Waxmann.
- ROCKSTRÖM, J., GAFFNEY, O., ROGELJ, J., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N. & SCHELLNHUBER, H.J. (2017): A roadmap for rapid decarbonization. In: *Science*, 355, 1269 – 1271. <https://doi.org/10.1126/science.aah3443>.
- RÖMER, M. (2016): Was ist normal? Perzentilkurven zum Wachstum lesen und verstehen. In: *mathematik lehren*, 197, 20 – 25.
- SALLE, A., VOM HOF, R. & PALLACK, A. (2014): Differenzierter Unterricht mit Blütenaufgaben. In: ROTH, J. & AMES, J. (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (Bd. 2, S. 1047 – 1050). WTM – Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien. <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-15483>.
- SCHÄFER, A. (2016): Weniger Mädchen in Gorleben?! – Statistische Signifikanz verstehen. In: *mathematik lehren*, 197, 40 – 44.
- SILLER, H.-S., GÜNSTER, S. & GEIGER, V. (2024): Mathematics as a central focus in STEM – theoretical insights and practical insights from a special study program within pre-service (prospective) teacher education. In: LI, Y., ZHENG, Z. & SONG, N. (Hrsg.), *Changes and innovations in disciplinary and inter-disciplinary education in STEM: an international perspective* (S. 317 – 343). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52924-5_15.
- SILLER, H.-S. & ROTH, J. (2016): Herausforderung Heterogenität – Grundvorstellungen als Basis und Bezugsnorm. *Mathematik lehren*, 58 (70), 2 – 8.
- SILLER, H.-S. (2015): Realitätsbezug im Mathematikunterricht. *Der Mathematikunterricht*, 61 (5), 2 – 6.
- SILLER, H.-S. & MAASS, J. (2013): Simulation „Hunger in Afrika“ – Teil 1 bis Teil 3. In: BRANDL, M., BRINKMANN, A. & MAASS, J. (Hrsg.), *Vernetzte Mathematik – Kopiervorlagen und Materialien zu Band 1 – 3* (S. 34 – 40). Aulis.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2021): Häufige Fragen zum Klimawandel. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/haeufige-fragen-klimawandel#wasserdampf>.
- UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (2015): Education for all 2000 – 2015: Achievements and challenges. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232205>.
- VOHNS, A. (2013): Relative Armutsgefährdung – nur eine Zahl. In: *Der Mathematikunterricht*, 59 (4), 49 – 58.
- WAGNER D.R., WARMELING, A., ISODA, M. & SINCLAIR, P. (2017): Zu viel oder zu wenig? – Die Anzahl übergewichtiger Menschen steigt. In UNESCO MGIEP (Hrsg.), *Schulbücher für nachhaltige Entwicklung* (S. 68 – 69).
- WARMELING, A. (2022^a): Das nachhaltige Entwicklungsziel Gesundheit und Wohlergehen – Mathematisch untersucht. RAAbits Mathematik. Raabe-Verlag.
- WARMELING, A. (2022^b): Das kann doch nicht stimmen, oder? – Wirksamkeit von Impfstoffen. In: *mathematik* 5 – 10, 63, 28 – 29.
- WARMELING, A. (2020): Ein Baby als Klimarisiko? In: *mathematik lehren*, 220, 35 – 37.
- WARMELING, A. (2015): Die Ebola-Epidemie in Westafrika – Wachstumsvorgänge im realen Kontext modellieren. RAAbits Mathematik. Raabe-Verlag.
- WARMELING, A. (2009): Chromverbrauch. In: WARMELING, A. (Hrsg.), *ARRA 2 – Beispiele für einen Analysisunterricht für Realistische und Relevante Anwendungen*. MUED-Broschüre, 72 – 75.

- WARMELING, A. (2003): Mathematik und Agenda 21. In: MUED-Broschüre, Heft 2, 19ff.
- WELTHAUS BIELEFELD (2021): Pandemie Fehlernährung – Der weltweite Ernährungswandel und die Rolle der Nahrungsmittelkonzerne. https://www.welthaus.de/fileadmin/user_upload/Bildung/Downloads/Pandemie-Fehlernaehrung-Broschuere.pdf.
- WINTER, H. (1995): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, 61, 37 – 46.
- WITTMANN, E. C. (2010): Natürliche Differenzierung im Mathematikunterricht der Grundschule – vom Fach aus. In: HANKE, P., MÖWES-BUTSCHKO, G. & HEIN, A. K. (Hrsg.), Anspruchsvolles Fördern in der Grundschule (S. 63 – 78). Waxmann.
- WITTMANN, E. C. & MÜLLER, G. (1990): Handbuch produktiver Rechenübungen. Band 1: Vom Einspluseins zum Einmaleins. Kallmeyer.