

Antonio Rueda¹
 Niklas Kuhlmei¹
 Andreas Borowski¹

¹Universität Potsdam

Unumkehrbarkeit und Bildung für nachhaltige Entwicklung im Physikunterricht

Einleitung

Der vorliegende Beitrag zeigt eine Möglichkeit der Behandlung der Unumkehrbarkeit von Vorgängen als Grundprinzip im Physikunterricht und die Nutzung dieses Prinzips als Bewertungskriterium bei einer gesellschaftlich relevanten Entscheidungssituation. Die Studie stellt den ersten Schritt eines langfristigen Forschungsvorhabens dar.

Theoretischer Hintergrund

Angelehnt an die Nachhaltigkeitsziele (vgl. z. B. Vereinen Nationen 2022) stellte die Kultusministerkonferenz einen Orientierungsrahmen für die globale Entwicklung bereit (KMK 2016). Darin werden u. a. Kompetenzen und interdisziplinäre Themenvorschläge für den naturwissenschaftlichen Unterricht sowie eine konkrete Unterrichtsreihe über die Zukunftsfähigkeit der Energieversorgung vorgestellt (ebd.). Neben den in Diskussion der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) dominierenden, ökologischen Themen im naturwissenschaftlichen Unterricht wie Klimawandel, Energieversorgung, Stoffkreislauf, systemisches Denken (vgl. z. B. Zowada et al. 2019, Brockhage et al. 2021, Linkwitz et al. 2021, Banse et al. 2021, Höttecke 2013, Sakschewski et al. 2012, Ben-Zvi-Assaraf et al. 2010), taucht der Zusammenhang zwischen Entropie und Nachhaltigkeit vereinzelt (Jackl et al. 2012, Kümmel et al. 2018, Pelte 2014), allerdings nicht in fachdidaktischen Ansätzen zur BNE auf. Die Entropie und die damit verbundene Irreversibilität von Prozessen (vgl. z. B. Backhaus et al. 1981) könnte jedoch ein konzeptuelles Verständnis hinsichtlich der Nachhaltigkeit von Vorgängen ermöglichen. Denn ein Prozess ist weniger nachhaltig, je höher die Entropieproduktion ist (vgl. z. B. Pelte 2014, S. 313). Irreversible Vorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass sie (1) nur in eine Zeitrichtung verlaufen (Vollmer 1985), (2) nicht „von selbst“ in ihren Ausgangszustand zurückkehren können (Backhaus & Schlichting 1981) und (3) durch „Ersatzvorgänge“ in ihren Ausgangszustand befördert werden können (ebd.). Außerdem (4) bedeuten irreversible Vorgänge eine Erhöhung der „Unordnung“ (Cencini et al. 2021). Schließlich (5) sind alle natürlichen „beobachtbaren“ Vorgänge (bei abgeschlossenen Systemen) unumkehrbar (ebd.).

Darüber hinaus besteht der Konsens, dass ein reines Faktenwissen über die verschiedenen „BNE-Themen“ die in der BNE erforderliche Bewertungskompetenz lediglich zu einem geringen Maß fördert, weshalb Diskussionsphasen mittels z. B. Rollen- und Planspiele unentbehrlich sind (vgl. z. B. Höttecke 2013, Höhle & Menthe 2013, Dittmer et al. 2016).

Forschungsfragen

- Inwieweit nutzen Lernende die Irreversibilität in der Erklärung von alltäglichen, gesellschaftlich relevanten Vorgängen nach der Einführung dieses Konzeptes?

- Inwieweit verwenden Lernende die Unumkehrbarkeit von Vorgängen als zusätzliches Bewertungskriterium in ihrer Stellungnahme bezüglich eines gesellschaftlich relevanten Dilemmas?

Methodisches Vorgehen

Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde eine für diese Studie entworfene Unterrichtseinheit umgesetzt. In der Unterrichtseinheit wurden die oben präsentierten Merkmale der Unumkehrbarkeit behandelt. Zu Beginn und Ende der Unterrichtseinheit (Prä-Post-Design) sollten die Lernenden ein gesellschaftlich relevantes Dilemma bewerten. Für die Gestaltung der Tiefenstruktur der Unterrichtseinheit wurden die zwei Basismodelle nach Oser verwendet, „Entwicklung als Ziel der Erziehung“ und „Konzeptbildung“ (Oser et al. 1990), und miteinander verzahnt. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Unumkehrbarkeit und dem kontroversen Dilemma wurde während der Einheit nicht offenbart, um zu untersuchen, inwieweit die Lernenden in der Lage waren, diesen Zusammenhang selbst herzustellen. Eine gymnasiale Schulklasse der siebten Jahrgangsstufe (N = 21) besuchte die Laborräume der Physikdidaktik an der Universität Potsdam, in der sie ca. 120 Minuten die Aktivitäten durchführten.

Der Wissenserwerb bezüglich der Unumkehrbarkeit wurde anhand eines kurzen Fachwissenstests geprüft. Dieser bestand aus einer geschlossenen Aufgabe mit vier Teilaufgaben und zwei offenen Aufgaben, die das Erkennen und die Anwendung der Unumkehrbarkeit in alltäglichen Kontexten prüften. Eine deskriptive Statistik der ersten geschlossenen Frage und eine explizierende qualitative Inhaltsanalyse der offenen Fragen (Mayring 2010) wurden durchgeführt. Die Einschätzung der Bewertungskompetenz der Lernenden erfolgte anhand ihrer Stellungnahme zum Thema Nitrat im Grundwasser in Deutschland. Die Lernenden erhielten zu Beginn und zum Schluss eine modifizierte Ankeraufgabe, in der grundlegende Informationen zum Thema dargestellt wurden. Außerdem erfuhren die Lernenden zwei mögliche Standpunkte bzw. Urteile zur Problematik aus einem miteingefügten, fiktiven Gespräch zwischen zwei zwölfjährigen Kindern. In der Studie galt die Inkaufnahme der Nitratbelastung in der Bewertung als nicht nachhaltige Bewertungstendenz. Nachhaltige Bewertungstendenzen beinhalteten die klare Stellungnahme hinsichtlich der Gefahr von Nitraten im Grundwasser. Die Erklärungen der Lernenden wurden in einem zweiten Schritt mithilfe eines Kodiersystems analysiert, dessen Struktur auf das Argumentationsschema nach Toulmin (2016) beruht. Eine strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) wurde bei den Erklärungen durchgeführt. Zwei Kodierer wendeten das Kodiersystem bei n = 83 Kodiereinheiten an. Es ergab sich eine akzeptable Übereinstimmung ($\kappa = .62$) bezüglich der Differenzierung der Kategorien des Kodiersystems.

Ergebnisse

Die erste geschlossene Aufgabe des Fachwissenstest zum Erkennen unumkehrbarer Vorgänge wurde von allen Lernenden beantwortet und von 29 % vollständig korrekt. Die zweite bzw. dritte offene Aufgabe zur Anwendung der Merkmale der Unumkehrbarkeit wurden von 8 bzw. 15 der 21 Lernende bearbeitet. Die Unumkehrbarkeit tauchte in Einzelfällen auf (z. B. bzgl. Kraftstoffnutzung *„der Kraftstoff taucht nicht von selbst wieder im Auto auf“*, oder bzgl. Klimawandel *„der Klimawandel kann nur in eine Zeitrichtung verlaufen“*, oder bzgl. Recycling *„aus geschredderten Flaschen können von selbst keine neuen gebildet werden“*).

20 von 21 Lernenden nahmen schriftlich Stellung zum Dilemma des Nitrats im Grundwasser in Bezug auf die Sicht der zwei fiktiven Kinder in der Aufgabenstellung. Die nebenstehende Tabelle

Bewertungstendenz	Vorher	Nachher
Nicht nachhaltig	12	8
Nachhaltig	3	4
Unentschieden	5	8

zeigt die Ergebnisse über die Bewertungstendenz der Entscheidungen der Lernenden.

Die Lernenden begründeten zu Beginn der Unterrichtseinheit ihre Entscheidung ausführlicher

als zum Ende. In der nebenstehenden Tabelle wird die Anzahl der Lernenden gezeigt, die die entsprechenden Strukturelemente nach Toulmin verwendeten. Die genutzten

Strukturelement	Vorher	Nachher
Schlussfolgerung	20	12
Schlussregel	17	9
Stützung	9	4
Ausnahmebedingung	8	1

Schlussregeln enthielten Informationen aus der Aufgabenstellung, wobei 9 der 17 Lernenden ihre Erklärung mit konkretem naturwissenschaftlichem Wissen stützten. Lediglich 2 Lernenden nannten die Unumkehrbarkeit in ihrer Argumentation am Ende der Unterrichtseinheit.

Diskussion

Die Kürze der Unterrichtseinheit in Bezug auf die Anzahl der bearbeiteten Merkmale der Irreversibilität könnte erklären, warum lediglich ca. 30% der Lernenden die Unumkehrbarkeit in alltäglichen Vorgängen erkannten (Antwort zur ersten Forschungsfrage). Darüber hinaus kann aus den Ergebnissen über die Bewertungstendenz geschlossen werden, dass die Unterrichtseinheit eine gewisse Verschiebung hin zur nachhaltigeren Bewertungstendenz bewirkt hat. Es ist nicht eindeutig, ob das Prinzip der Unumkehrbarkeit von Vorgängen als Bewertungskriterium die Bewertungstendenz der Lernenden am Ende der Unterrichtseinheit beeinflusst hat. Obwohl die Hälfte der Lernenden (zwei von vier Lernenden) mit einer nachhaltigen Bewertungstendenz die Unumkehrbarkeit als Stützung verwendeten, sind die absoluten Zahlen zu niedrig, um einen plausiblen Zusammenhang zu deuten. Man könnte mit Vorsicht interpretieren, dass eher Lernende, die bereits ein nachhaltiges Verhalten besitzen, das zusätzliche Bewertungskriterium der Unumkehrbarkeit während einer zweistündigen Unterrichtseinheit annehmen (Antwort zur 2. Forschungsfrage). Ausführlichere Diskussionen über das Dilemma und bei der Nutzung der Unumkehrbarkeit anhand von Anwendungsaufgaben scheinen entscheidende Stellen für die Entwicklung der Bewertungskompetenz zu sein (Höttecke 2013, Bögeholz et al. 2018). Die explizite *Stimulierung* zur Verinnerlichung des Bewertungskriteriums erscheint ebenfalls nötig.

Ausblick

Die Unterrichtseinheit wird künftig gemeinsam mit Lehrkräften weiterentwickelt und erprobt. Dabei werden weitere Ansätze über die tiefenstrukturelle Gestaltung der Unterrichtseinheit herangezogen, die Anzahl an Stationen in der Unterrichtseinheit verringert, sowie die Themen für die Behandlung der Unumkehrbarkeit in anderen Klassenstufen, wie z. B. in der Mechanik, erweitert. Darüber hinaus wird die Erhebungsmethode zum Fachwissenserwerb überprüft. Zusammengefasst wird angestrebt, eine neunzigminütige Unterrichtseinheit auszuarbeiten, welche die Bewertungskompetenz bezogen auf die BNE im Physikunterricht fördert.

Literatur

- Backhaus, U., & Schlichting, H. (1981). Die Unumkehrbarkeit natürlicher Vorgänge - Phänomenologie und Messung als Vorbereitung des Entropiebegriffs. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 34/3, 153 (1981)
- Banse, C. & Marohn, A. (2021). Wie nachhaltig ist Elektromobilität? Das Unterrichtskonzept „nachhaltig bewerten“, *MNU Journal*, 74 (5), 425-429.
- Ben-Zvi-Assaraf, O. & Nir, O. (2010). Systems Thinking Skills at the Elementary School Level. *Journal of Research in Science Teaching* 47: 540–63.
- Bögeholz, S. et al. (2018). Bewertungskompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 261–281). Berlin: Springer.
- Brockhage, F., Lüsse, M., Pietzner, V. & Beeken, M. (2021). Citizen Science & Schule. Wie Schülerprojekte die Forschung zu Themen der Nachhaltigkeit vorantreiben können. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 32(183), 8–15.
- Cencini, M., Puglisi, A., Vergni, D., & Vulpiani, A. (2021). *A Random Walk in Physics. Beyond Black Holes and Time-Travels*. Springer Nature Switzerland AG.
- Dittmer, A., Gebhard, U., Höttecke, D. Menthe J. (2016). Ethisches Bewerten im Naturwissenschaftlichen Unterricht: Theoretische Bezugspunkte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 22, 97–108
- Höttecke, D. (2013). Rollen- und Planspiele in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In J. Menthe et al., *Handeln in Zeiten des Klimawandels – Bewerten Lernen als Bildungsaufgabe* (S. 95-111). Münster: Waxmann.
- Jakl, T. / Sietz, M. (Hrsg.) (2012): "Nachhaltigkeit fassbar machen - Entropiezunahme als Maß für Nachhaltigkeit", *Favorita Papers* 01/2012, Wien
- Jakl, T. (2016). Entropie - ein Indikator für Nachhaltigkeit. In M. Sietz (Hrsg.), *Wärmefußabdrücke und Energieeffizienz - Nachhaltigkeit messbar machen* (S. 1-8). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kidman, G., Chang, C. H., & Wi, A. (2020). Defining Education for Sustainability. A theoretical framework. In C. H. Chang, G. Kidman & A. Wi (Hrsg.), *Issues in Teaching and Learning of Education for Sustainability: Theory into Practice* (S.1-13). Routledge.
- Kümmel, R., & Paech, N. (2018). *Energie, Entropie, Kreativität*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2018.
- Linkwitz, M., Belova, N. & Eilks, I. (2021). Grüne und nachhaltige Chemie bereits im Chemieunterricht der SI? - Das Projekt "Cosmetics go green". *Chemie konkret*, 28, 155-161.
- Mayring, P (2010), *Qualitative Inhaltsanalyse*, Weinheim: Beltz
- Moore, T. A. (2003). *Six Ideas That Shaped Physics. Unit T: Some Processes Are Irreversible*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Oser Fritz & Patry Jean-Luc (1990). *Choreographien unterrichtlichen Lernens. Basismodelle des Unterrichts*. Nr. 89. Fribourg.
- Pelte, D. (2014). *Die Zukunft unserer Energieversorgung*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sakschewski, M.; Bögeholz, S.; Eggert, S.; Meyer, R.; Schneider, S.: *Bewertungskompetenz im Physikunterricht: Erste Ergebnisse einer Studie mit Lautem Denken*. - Aus: Bernholt, Sascha (Hrsg.): *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen*. Kiel: IPN-Verlag (2013), S. 146-148, - Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 33; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2012
- Schreiber, J. R., & Siege, H. (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich: Globale Entwicklung* (2. Akt. und erweiter. Aufl.). Berlin: Heenemann.
- Toulmin, S. E. (1996). *Der Gebrauch von Argumenten*. (2nd ed.). Weinheim: Beltz, Athenäum.
- Vereinte Nationen. (2022). *Ziele für nachhaltige Entwicklung*. Von Vereinte Nationen: <https://unric.org/de/17ziele/> abgerufen
- Vollmer, G. (1985). Woher stammt die Asymmetrie der Zeit? *Naturwissenschaften* 72.9, S. 470-481.
- Zowada, C., Zuin, V.G., Belova, N. & Eilks, I. (2019) Glyphosat und grüne Pestizide. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 30 (172), 38-43.