
Den globalen Wandel verstehen: Vorstellungen zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme

Irene Lampert und Kai Niebert

Universität Zürich,

Erziehungswissenschaftliches Institut Didaktik der Naturwissenschaften und der Nachhaltigkeit

ZUSAMMENFASSUNG

Das Modell der planetaren Belastungsgrenzen ist der Versuch globale Umweltveränderungen wissenschaftsbasiert zu erfassen und zu bewerten. In dem Modell wurden neun planetare Belastungsgrenzen identifiziert, deren Überschreitung zur Destabilisation der jeweiligen Erdsysteme führen kann. Damit das Modell für die unterrichtliche Vermittlung genutzt werden kann, fragt dieser Beitrag danach, wie Wissenschaftler/innen und Schüler/innen die Stabilität und Instabilität verschiedener erdsystemarer Prozesse konzeptualisieren. Der Vergleich der wissenschaftlichen Vorstellungen und Vorstellungen der Schüler/innen zeigt, dass die beiden Gruppen in ihren Grundsätzen die Menschen als Ursache für die Instabilität der Erdsysteme sehen. Dennoch zeigen sich Unterschiede in den Vorstellungen bei der Definition von erdsystemarer Stabilität sowie den Folgen der Instabilität der Erdsysteme. Auch nehmen die Wissenschaftler/innen eine dezidiert anthropozentrische Sichtweise im Bezug zu den globalen Umweltveränderungen im Gegensatz zur ökologischen Sichtweise der Lernenden ein.

Schlüsselwörter: Globale Umweltveränderungen Verstehen, Unterricht und Lernen, Nachhaltigkeit, Gesellschaft und Umwelt

ABSTRACT

The planetary boundary framework enables us to describe global environmental changes based on scientific evidence. Transgression of the planetary boundaries could lead to destabilization of the Earth System. In order to prepare the planetary boundary framework for teaching, this paper addresses the question how scientists and learners understand the stability and instability of global Earth System processes. The comparison of the conceptions shows that on the basis both students and scientists conceptualize humanity as cause of Earth System instability. Main differences in the conceptions between students and scientists are shown regarding their understanding of Earth System stability as well as the consequences of Earth System instability. Furthermore, the analysis reveals that scientists take a strong anthropocentric view towards global environmental changes in comparison to the rather ecological view of the students.

Key words: Understanding Global Environmental Changes, Teaching and Learning, Sustainability, Society and Environment

1 Einleitung

Das Modell der planetaren Grenzen (planetary boundary framework) möchte den Status und die Auswirkungen der globalen Umweltveränderungen darstellen (Abb. 1). Die übermäßige Belastung eines oder mehrerer der neun Erdsysteme erhöht das Risiko Kipppunkte zu überschreiten, was zur Instabilität der Erdsysteme und zu irreversiblen globalen Umweltveränderungen führen kann. Die Quantifizierungen der wichtigsten Erdsysteme offenbaren, dass vier der neun Grenzen überschritten sind: Landnutzung, Intaktheit der Biosphäre (Artensterben), Klimawandel und biogeochemischen Flüsse (Phosphor, Stickstoff). Die weiteren fünf Erdsysteme befinden sich noch innerhalb der planetaren Grenzen (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015a). Die planetaren Grenzen wurden so quantifiziert, damit die Grenzüberschreitungen miteinander in Bezug gesetzt werden können. Die Wissenschaftler/innen können damit aufzeigen, dass es um die Intaktheit der Biosphäre und den Phosphor- und Stickstoffeintrag schlimmer steht, als um den medial und politisch oft genannten Klimawandel. Damit bietet das Modell die Möglichkeit einer Priorisierung von Umweltthemen im Unterricht.

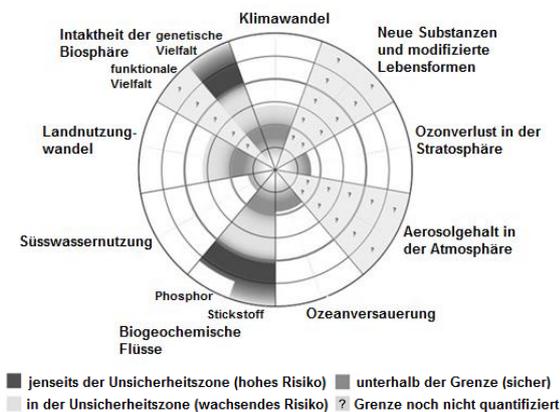


Abbildung 1 Modell der planetaren Grenzen nach Steffen et al. (2015a)

Die Quantifizierungen der Grenzen basieren auf den Daten der Erdpoche Holozän. Das Holozän begann vor etwa 10'000 Jahren und zeichnete sich durch geringfügige Schwankung biogeochemischer und atmosphärischer Parameter aus (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015a). Bei der Setzung der Grenzen handelt es sich im Sinne des Vorsorgeprinzips um eine normative Wertung und die Frage, wie viel Risiko man bereit ist in Kauf zu nehmen, bevor man Kipppunkte überschreitet. Das Modell wurde in

erster Linie dazu entwickelt um politische Entscheidungen zu beeinflussen und wird derzeit auch für politische Entscheidungen genutzt, z.B. bei der Festlegung der 2-Grad-Schwelle beim Klimawandel.

Das Modell hat die Aufgabe, den Status der Stabilität und Instabilität der Erdsysteme aufzuzeigen. Bei den unterschiedlichen Zonen der planetaren Grenzen werden die verschiedenen Stadien der Stabilität bzw. Instabilität der Erdsysteme dargestellt (hohes Risiko von Instabilität; wachsendes Risiko von Instabilität; unterhalb der Grenze bzw. sicher/stabil). Somit handelt es sich bei der Frage nach der Stabilität und Instabilität der Erdsysteme um ein zentrales Element des Modells der planetaren Grenzen, welches besonders in den Publikationen von Rockström et al. (2009) und Steffen et al. (2015) aufgezeigt wird.

Lampert und Niebert (2018) veröffentlichten bereits einen Beitrag, welcher sich allgemein mit den Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftler/innen zu den planetaren Grenzen auseinandersetzt. Im folgenden Beitrag wird ein Spezialgebiet davon – Vorstellungen zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme – im Rahmen einer Didaktischen Rekonstruktion genauer untersucht. Die erhobenen Konzepte von Lernenden und Wissenschaftler/innen können fachspezifisch, aber auch fächerübergreifend, wichtige Impulse für den interdisziplinären Unterricht geben. Dies ist angesichts der zunehmenden globalen ökologischen Herausforderungen hochaktuell und wertvoll für den naturwissenschaftlichen Unterricht – sowohl aufgrund seiner integrierten Sicht als auch seiner politischen Relevanz.

2 Theoretischer Hintergrund

Moderater Konstruktivismus und Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Gemäß des Konstruktivismus erschafft sich jedes Individuum seine Wirklichkeit selbst und bildet sich individuelle Vorstellung der äußeren Welt (Glaserfeld, 2008). Diese Vorstellungen bestimmen schließlich auch unser Lernen (Krüger, 2007). Möchten wir erfolgreich vermitteln, müssen wir die Vorstellungen der Lernenden berücksichtigen. Beim Lernen werden Inhalte aktiv basierend auf den bisherigen Vorstellungen konstruiert. Lernende nehmen folglich eine aktive Rolle im Lernprozess ein: Betreten sie das Klassenzimmer, bringen sie bereits Vorstellungen aus ihrer Lebenswelt mit. Diese Vorstellungen können zu Lernhindernissen führen, aber auch lernförderliche Aspekte beinhalten und Ursprung für

Lernprozesse sein (Riemeier, 2007; Duit, 1995). Um als Lehrperson möglichen Lernhindernissen und Lernchancen begegnen zu können, muss sie die Alltagsvorstellungen der Lernenden zu einem bestimmten Themenbereich kennen. Nur so kann sie basierend auf den lebensweltlichen Erfahrungen der Lernenden Lernangebote gestalten, bei denen ein Konstruieren und eine Restrukturierung von Vorstellungen möglich ist (Riemeier, 2007).

Da Vorstellungen sich aus unserer Umwelt und somit aus physischen und sozialen Erfahrungen entwickeln, sind sie von erfahrungsbasierten Konzepten geprägt. Der Linguist George Lakoff und der Philosoph Mark Johnson (2008) nehmen an, dass wir mit Hilfe von Metaphern auf vergegenständlichte Alltagserfahrungen zurückkommen, um abstrakte Konzepte zu verstehen. Gleiches konnten Niebert und Gropengießer (2015) auch für Schüler/innenvorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen darlegen: Die Struktur eines direkt erfahrbaren Quellbereichs wird zum Aufbau einer konzeptuellen Struktur des nicht direkt erfahrbaren Zielbereiches übertragen (Lakoff & Johnson, 2008). Lakoff und Johnson (1980) erklären, dass auch unsere Grundbegriffe, die nicht in Metaphern ihren Ursprung haben, von unserer direkten körperlichen Erfahrung abhängen und nennen diese Schemata. „*Die Art und Weise, wie wir mit unserem Körper in unserer Mit- und Umwelt handeln, entwickelt unser mentales System und generiert bedeutungsvolle Begriffe. Diese Begriffe und Schemata werden deshalb als verkörpert (embodied) gekennzeichnet.*“ (Gropengießer, 2007, S. 111). Zum Beispiel können Konzepte wie *oben*, *unten*, *hinten* und *vorne* nur entwickelt werden, wenn wir unseren Körper in einer solchen Situation erleben (Lakoff & Nunez, 2000; Johnson, 1987). In der Kognitionswissenschaft wird dies als Embodied Cognition oder Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bezeichnet.

3 Stand der Forschung

Es liegen bereits mehrere Studien über Lernvoraussetzungen zu globalen Umweltveränderungen vor, die im Modell der planetaren Grenzen abgebildet sind. Das Ozonloch wird von Laien oft mit dem Klimawandel gleichgesetzt (Niebert, 2014) und die Lernenden kennen kaum Strategien zur Verringerung des Klimawandels (Niebert, 2016). Vorstellungen zur Stabilität hängen eng mit Vorstellungen zum Gleichgewicht von Ökosystemen zusammen. Diese

wurden vor allem im Zusammenhang mit der Biodiversität untersucht:

- Gemäß Hamman und Asshoff (2015) weisen Lernende die Vorstellung auf, dass Ökosysteme sich in einem Gleichgewichtszustand befinden, damit der Fortbestand von Lebensgemeinschaften gesichert ist.
- Auch Sander, Jelemenská und Kattmann (2006) konnten in ihrer Untersuchung zeigen, dass Lernende das Gleichgewicht als gleich bleibenden Zustand verstehen, der sich auf eine ausgewogene Beziehung zwischen den Bestandteilen eines Ökosystems, auf eine bestimmte hierarchische Ordnung zwischen den Organismen oder der Natur als Ganzes bezieht.

Dieses Gleichgewicht sichere das Überleben aller beteiligten Organismen von lokalen bis zu regionalen Ökosystemen (Sander, Jelemenská & Kattmann, 2006). Auch wird die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts mit dem Konzept eines Kreislaufes erklärt. Das Zusammenleben von Tieren und Pflanzen wird als „gleichberechtigt“ geschildert; sie nehmen aus der Natur so viel, wie sie zum Leben benötigen, sodass das Gleichgewicht erhalten bleibt. Der Mensch wird als Störer betrachtet, weil er in die Natur eingreife und sich nicht mehr als Teil der Natur versteht. Die Handlungen des Menschen werden negativ bewertet, während die Natur mit einem „natürlichen Gleichgewicht“ als positiv betrachtet wird (Kattmann, 2016). In diesem Zusammenhang zeigten die Untersuchungen von Korfiatis, Hovardas, Tsaliki und Palmer (2009) und Hovardas und Korfiatis (2011) die vorherrschende Vorstellung von Schüler/innen, dass ein Ungleichgewicht immer das Resultat von menschlichen Interventionen sei (vgl. auch Zimmermann & Cuddington, 2007; Ergazaki & Ampatzidis, 2012).

Die Verwendung der Metapher *Gleichgewicht der Natur* – auch in Fachzeitschriften – erweist sich aus fachdidaktischer Sicht als problematisch, da sie die oben genannten fachlich nicht adäquaten Schüler/innenvorstellungen fördert. Im Zusammenhang mit Ökosystemen wird vorgeschlagen, den Begriff der Stabilität an die Stelle des Gleichgewichts zu setzen. Stabilität im Zusammenhang mit Ökosystemen bedeutet, dass ein System instabil werden kann, dann aber wieder in einen stabilen Zustand zurückkehrt (vgl. auch Campbell & Reece, 2009; Kattmann, 2016). Es zeigt sich, dass der Faktor Zeit eine besondere Rolle beim Stabilitätsbegriff spielt. Gemäß

Kattmann (2016) wird die Stabilität eines Ökosystems immer im Kontext einer bestimmten Zeitspanne oder Dauer betrachtet. Wird innerhalb eines gewählten Zeitrahmens von ökologischer Stabilität nur ein bestimmter Zeitpunkt betrachtet, kann sich das gleiche Ökosystem in einem vorübergehend instabilen Zustand befinden. Die Bestimmung von ökologischer Stabilität hängt folglich davon ab, in welchem Zeitraum die Prozesse erfasst werden (Kattmann, 2016). Es wird deswegen vermehrt die Metapher „flux of nature“ verwendet (Zimmerman & Cuddington, 2007; Hammann & Asshoff, 2015). Zum Modell der planetaren Grenzen wurden Alltagsvorstellungen im Rahmen eines Beitrags von Lampert und Niebert (2018) untersucht. Dabei konnten sie zeigen, dass Lernende wie auch Wissenschaftler/innen unter anderem aufbauend auf dem Schema stabil vs. instabil argumentieren, um die Veränderungen der Umweltbedingungen zu beschreiben: Die wachsende Belastung der planetaren Grenzen durch die Menschen führt zunehmend in die Instabilität. Die Wissenschaftler/innen zeigen im Unterschied zu den Lernenden jedoch die Vorstellung auf, dass die Reduktion anthropogener Belastung zu einer Stabilisation der planetaren Grenzen führen kann, wenn entsprechende Kippunkte noch nicht überschritten wurden. Die Lernenden hingegen offenbaren eine pessimistische Sichtweise und sehen in der Zukunft eine fortdauernde und irreversible Überschreitung der planetaren Grenzen (Lampert & Niebert, 2018).

In diesem Beitrag wird der Aspekt Stabilität und Instabilität der Erdsysteme des Beitrags von Lampert und Niebert (2018) aufgegriffen und genauer untersucht. Dabei wird unter anderem auch das Verstehen des Stabilisationsbegriffs von Wissenschaftler/innen und Lernenden im Zusammenhang mit den aktuellen globalen Umweltveränderungen erörtert. Bis anhin gibt es keine Untersuchungen die sich mit Vorstellungen zur Stabilität und Instabilität des Erdsystems im Kontext des Modells der planetaren Grenzen befassen. Auch bei der genaueren Vorstellungsuntersuchung zu Ursachen und Folgen der Instabilität handelt es sich um ein Forschungsdesiderat.

4 Forschungsfragen

Aufbauend auf bestehenden Forschungslücken werden folgende Fragen adressiert:

- Welche Vorstellungen haben Lernende und Wissenschaftler/innen zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme im Kontext des Modells der planetaren Grenzen?
- Welche Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Eigenheiten lassen sich zwischen den Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftler/innen finden?
- Welche didaktisch begründeten Leitlinien lassen sich aus dem Vergleich der Vorstellungen ableiten?

5 Untersuchungsdesign und Methoden

Für diese Untersuchung dient die Didaktische Rekonstruktion als Forschungsrahmen. Dabei werden Vorstellungen von Wissenschaftler/innen und Lernenden miteinander in Beziehung gesetzt. Dies ermöglicht die Formulierung von evidenzbasierten Leitlinien für die Gestaltung von Vermittlungssituationen (Duit, Gropengiesser, Kattmann, Parchmann & Komorek, 2012). Als Basis für die fachliche Klärung dienten neun Publikationen¹, welche relevante Aspekte des Modells diskutierten, wobei die Leitpublikationen von Rockström et al. (2009) und Steffen et al. (2015a) von großer Bedeutung waren. Die fachliche Klärung dient dazu, die wissenschaftlichen Ansichten kritisch zu hinterfragen. Die Vorstellungen der Lernenden zum Modell der planetaren Grenzen wurden im Rahmen zweier Interviewstudien (Herbst 2016, 2017) mit einem leitfadenstrukturierten Interview erhoben (Niebert & Gropengiesser, 2014). Als Interviewmaterial diente die Darstellung des Modells der planetaren Grenzen, wobei der Leitfaden Interviewimpulse zu folgenden Themen enthielt: *Beschleunigung/Wachstum; Planetare Grenzen; Kippunkte; Ursachen von Grenzüberschreitungen; Interaktion der Grenzen; Hierarchie der Grenzen; Stabilität und Instabilität; Reversibilität/Irreversibilität*. Der Interviewleitfaden ist auf Wunsch einsehbar. In der Interviewstudie wurden Vorstellungen von 22 Schüler/innen der Sekundarstufe I (12 männlich, 10 weiblich, Durchschnittsalter

¹ Rockström & Klum, 2015; Frischknecht, Stolz & Tschümperlin, 2016; Steffen et al., 2015a; Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney & Ludwig, 2015b; Rockström et al., 2009; Schlesinger, 2010; Nash et al., 2017; Dao et al., 2015; Bass, 2010

14.85 mit einer Standardabweichung von 0.75) und 20 Schüler/innen der Sekundarstufe II (13 männlich, 7 weiblich, Durchschnittsalter 16.80 mit einer Standardabweichung von 0.95) in der Schweiz im Rahmen von leitfadengestützten Interviews (Interviewdauer Mittelwert 30 Minuten mit einer Standardabweichung von 8 Minuten) erhoben. Die Lernenden wurden gebeten zu zweit oder zu dritt an einem Interview teilzunehmen, wobei aufgrund der Gruppengröße meist zwei Lernende interviewt wurden (Laatz, 1993; Aeppli, Gasser, Gutzwiller & Tettenborn, 2014; Niebert & Gropengiesser, 2014). Als Zielgruppe wurden Jugendliche gewählt, da sie aufgrund ihres Alters komplexere naturwissenschaftliche Phänomene verstehen, aktiv im gesellschaftlichen Leben wirken können und zukünftige Entscheidungsträger sind. Die Transkripte und die Publikationen wurden mit der Qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und mit der Metaphernanalyse auf metaphorische Konzepte untersucht. Die Qualitative Inhaltsanalyse folgte einer von Mayring (2015) und Gropengießer (2005) aufgezeigten Vorgehensweise: (1) Relevante Aussagen wurden mit MAXQDA kodiert, dann selektiert und paraphrasiert. (2) Anschließend wurden die redigierten Aussagen geordnet, Kohärenzen und Widersprüche ausgearbeitet und gleiche Aussagen und Argumentationsketten gebündelt. (3) Damit wurden Kategorien zu einem Vorstellungsbereich gebildet. (4) Die Aussagen zu einem Vorstellungsbereich wurden differenziert zusammengefasst und (5) im Rahmen der Explikation die Charakteristika und Quellen des Verständnisses erörterten. (6) Anschließend fand die Einzelstrukturierung statt, in der einzelne Konzepte gebildet wurden. (7) Die extrahierten und formulierten Konzepte der Einzelstrukturierung wurden gesamthaft nach Themenbereich strukturiert und daraus Denkfiguren abgeleitet.

Die Plausibilität der Ergebnisse wurde durch deren kritische Auseinandersetzungen in der Forschungswerkstatt und Vorträgen gefördert. Relevante Transkript- und Publikationsausschnitte wurden durch weitere Forscher/innen des Lehrstuhls kodiert, geordnet, kategorisiert und interpretiert. Um die Inter-coderreliabilität zu gewährleisten, wurde ein Re-Test durchgeführt und das Kategoriensystem mit dem Kodierleitfaden in einem weiteren Durchgang durch einen Zweitkodierer geprüft. Die korrelative Gültigkeit wurde durch die Validierung der Analyseergebnisse mit bereits publizierten Ergebnissen zu den jeweiligen Themenbereichen gefördert. Für die Stabilitätssicherung wurde nach einer längeren Pause nochmals anhand des gebildeten Kodierleitfadens kodiert und die Codes wurden überprüft. Der Kodierleitfaden und das genaue Aufzeigen der Analyseschritte ermöglichen eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Die Metaphernanalyse nach Schmitt (2016) bot die methodische Grundlage für die Vorstellungsanalyse im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. Für die Metaphernanalyse wurden relevante Textausschnitte der Transkriptionen und Publikationen als Quellmaterial festgelegt und die mit der Fragestellung im Zusammenhang stehenden Metaphern gesammelt. Anschließend wurden alle Metaphern mit den gleichen Quell- und Zielbereichen zusammengeführt und wo möglich metaphorische Konzepte rekonstruiert.

6 Ergebnisse

6.1 Wissenschaftlervorstellungen

Im Folgenden werden die unterrichtlich wichtigsten Vorstellungen der Wissenschaftler/innen in Bezug zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme im Kontext des Modells der planetaren Grenzen aufgezeigt.

Tabelle 1:

Vorstellungen der Wissenschaftler/innen zu den Ursachen erdsystemarer Instabilität

Tab. 1 Wissenschaftler/innenvorstellungen	DENKFIGUREN
<p><i>“The exponential growth of human activities is raising concern that further pressure on the Earth System could destabilize critical biophysical systems and trigger abrupt or irreversible environmental changes that would be deleterious or even catastrophic for human well-being.”</i> (Rockström et al., 2009).</p>	<p>INSTABILITÄT DURCH EXONENTIELL WACHSENDEN EINFLUSS DES MENSCHEN</p>
<p><i>“The dominant feature of the socio-economic trends is that the economic activity of the human enterprise continues to grow at a rapid rate.”</i> (Steffen et al., 2015b)</p>	
<p><i>“The most striking insight (...) is that most of the population growth has been in the non-OECD world but the world’s economy (GDP) is still strongly dominated by the OECD world. Despite the shift of global production, traditionally based within OECD countries, towards the BRICS nations, the bulk of economy activity, and with it, the lion’s share of consumption, remain largely within the OECD countries. (...) Insofar as the imprint on the Earth System scales with consumption, most of the human imprint on the Earth System is coming from the OECD world.”</i> (Steffen et al., 2015b)</p>	<p>INSTABILITÄT DURCH WIRTSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN DER OECD UND BRICS STAATEN</p>

In den im Diskurs um die planetaren Grenzen zentralen wissenschaftlichen Publikationen wird unterschiedlich differenziert mit den Ursachen des globalen Wandels und der dadurch entstehenden Instabilität argumentiert:

- Während in einigen Publikationen die Menschheit (*humanity*) als Gesamtheit mit ihren menschlichen Einflüssen (*human activities, anthropogenic impacts*) oder der Gesellschaft (*society*) als maßgeblicher Treiber geökologischer Umweltveränderungen identifiziert wird (INSTABILITÄT DURCH EXONENTIELL WACHSENDEN EINFLUSS DES MENSCHEN), sind andere Publikationen differenzierter:
- Letztere Publikationen unterscheiden die Einflüsse der alten Industrienationen (OECD-Staaten) und den wachsenden Einfluss der Schwellenländer (BRICS-Staaten) auf die Stabilität von Erdsystemen.

Auch lassen sich bei den Wissenschaftler/innen klarere Ursachen und Mechanismen für die entstehenden Instabilitäten in den Erdsystemen erkennen: So sind es (exponentiell) wachsende Ressourcenverbräuche, die zur Instabilität des Erdsystems führen – ausgelöst durch die Zunahme an wirtschaftlichen Aktivitäten der OECD und BRICS Staaten (INSTABILITÄT DURCH WIRTSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN

DER OECD UND BRICS STAATEN). Doch durch das Abstraktionslevel des Modells kann nicht aufgezeigt werden, wer für die Grenzüberschreitungen verantwortlich ist: Das aktuelle Level der Grenzüberschreitung wurde ungleich von unterschiedlichen Gesellschaftsgruppen verursacht. Die Wohlstandsvorteile, welche diese Grenzüberschreitung herbeiführten, sind auch sozial und geographisch ungleich verteilt. Diese soziale Dimension wird vom Modell nicht angesprochen, ist jedoch für das Verständnis der globalen Umweltveränderungen aus der Perspektive der sozioökonomischen Einflüsse unerlässlich und muss im Unterricht thematisiert werden.

Die Stabilität definieren die Wissenschaftler/innen über die Variabilitätsbreite der Umweltbedingungen innerhalb des Holozäns, welche für die Entwicklung der Menschen besonders förderlich war (STABILITÄT BEDEUTET MODERATE VARIABILITÄT INNERHALB DER MENSCHENFREUNDLICHEN EPOCHE HOLOZÄN). Rockström et al. (2009) definieren ökologische Stabilität anthropozentrisch über menschenfreundliche Umweltbedingungen

Tabelle 2:

Vorstellungen der Wissenschaftler/innen zur Bedeutung von Stabilität und Instabilität der Erdsysteme

Tab. 2 Wissenschaftler/innenvorstellungen	DENKFIGUREN
<p>“Starting from the observation that the current geological era (the Holocene, from about 12'000 years) has been highly suitable for human development.” (Frischknecht et al., 2016)</p>	
<p>“It is only beyond the mid-20th century that there is clear evidence for fundamental shifts in the state and functioning of the Earth System that are (1) beyond the range of variability of the Holocene, and (2) driven by human activities and not by natural variability.” (Steffen et al., 2015b)</p>	STABILITÄT BEDEUTET MODERATE VARIABILITÄT INNERHALB DER MENSCHENFREUNDLICHEN EPOCHE HOLOZÄN
<p>“Humans are effectively pushing the planet outside the Holocene range of variability for many key Earth System processes.” (Steffen et al., 2015a)</p>	
<p>“There is ample evidence from local to regional-scale ecosystems, such as lakes, forests, and coral reefs, that gradual changes in certain key control variables (e.g., biodiversity, harvesting, soil quality, freshwater flows, and nutrient cycles) can trigger an abrupt system state change when critical thresholds have been crossed.” (Rockström et al., 2009)</p>	INSTABILITÄT DURCH GRADUELLE ÄNDERUNG
<p>“This does not mean that transgressing a boundary will instantly lead to an unwanted outcome but that the farther the boundary is transgressed, the higher the risk of regime shifts, destabilized system processes, erosion of resilience and the fewer the opportunities to prepare for such changes.” (Steffen et al., 2015a)</p>	
<p>“We make a first attempt at identifying planetary boundaries for key Earth System processes associated with dangerous thresholds, the crossing of which could push the planet out of the desired Holocene state.” (Rockström et al., 2009)</p>	INSTABILITÄT DURCH ÜBERSCHREITUNG VON GRENZEN UND KIPPPUNKTEN
<p>“Transgressing one or more planetary boundaries may be deleterious or even catastrophic due to the risk of crossing thresholds that will trigger non-linear, abrupt environmental change within continental- to planetary- scale systems.” (Rockström et al., 2009)</p>	

Als Referenzrahmen zur Beschreibung erdsystemarer Stabilität nutzen Wissenschaftler/innen die erdgeschichtliche Epoche des Holozäns. Die Erdepoche wird dabei als Raum reifiziert, wobei sich die Stabilität der Erdsysteme innerhalb einer natürlichen Variabilität der Zustandsbedingungen des Holozän befinden (*Holozän Ist sicherer Raum*). Es zeigt sich dabei die zentrale Bedeutung der Zeit: Die Variabilitätsbreiten der Umweltbedingungen innerhalb des Zeitraums Holozäns werden als stabil konzeptualisiert, was für die Entwicklung von Gesellschaften als Voraussetzung beschrieben wird.

Die Stabilität der Erdsysteme wird darüber definiert, wie sie den Menschen dienlich ist. Dieses Verständnis von Stabilität entspricht nicht einer fachdidaktischen Perspektive auf ökologische Stabilität: „*Unter ökologischer Stabilität wird das Phänomen verstanden, dass ein System nach einer Veränderung in eine längere Zeit stabil erscheinende Lage zurückkehren kann.*“ (Kattmann, 2016, S. 76). Nicht nur das Holozän ist stabil, sondern andere Zustände oder Epochen können stabil sein – auch wenn sie weniger fördernd oder hindernd für die Entwicklung der Menschen sind.

Entsprechend der Bestimmung von Stabilität über den Referenzrahmen des Holozäns definieren sie Instabilität über Umweltbedingungen außerhalb des Holozäns. Diese Instabilität wird dabei durch langfristige und vor allem dauerhafte Veränderungen ausgelöst (INSTABILITÄT DURCH GRADUELLE ÄNDERUNG). Diese graduellen Änderungen und dadurch ausgelösten Grenzüberschreitungen erhöhen das Risiko entsprechende Kippunkte zu überschreiten. Die Wissenschaftler/innen zeigen auf, dass Kippunkte nicht-lineare Übergänge von Mensch-Umwelt-Systemen sind. Sie beschreiben, dass Kippunkte ein Schwellenverhalten im Bezug zum Holozän als Referenzrahmen aufweisen. Befindet sich ein Erdsystem schon nahe an einem Schwellenwert, kann es schon durch kleine externe Störungen destabilisiert werden (INSTABILITÄT DURCH ÜBERSCHREITUNG VON GRENZEN UND KIPPPUNKTEN). Die Überschreitung eines Kippunktes kann abrupt, aber auch stufenweise, erfolgen. Das Wort abrupt muss in diesem Zusammenhang reflektiert werden: Die Wissenschaftler/innen nehmen bei der Nutzung des Wortes *abrupt* Bezug zum langen Zeitraum des Holozäns, sodass der abrupte Zustandswechsel für unser Alltagsverständnis trotzdem noch relativ lange dauert. Im Modell wird der jeweilige Kippunkt in der *high risk zone* bzw. im roten Bereich vermutet, wobei nicht genau gesagt werden kann wo. Meist erkennt man Kippunkte erst, nachdem sie überschritten wurden. Die Setzung der planetaren Grenzen dient im Sinne des Vorsorgeprinzips dazu, die Überschreitung dieser Kippunkte zu vermeiden. Die Grenzen werden somit vor den Kippunkten gesetzt, um der Gesellschaft Zeit für entsprechende Maßnahmen zu geben. Das Modell zeigt diesen Zusammenhang zwischen den Grenzen und Kippunkten nicht auf. Auch lässt die Denkfigur INSTABILITÄT DURCH ÜBERSCHREITUNG VON GRENZEN UND KIPPPUNKTEN vermuten, dass zumindest für die quantifizierten Grenzen Kippunkte vorhanden sind. Tatsächlich konnten mit relativer Sicherheit nur globale Kippunkte für die planetaren Grenzen Klimawandel, Ozeanversauerung, Ozonverlust und Phosphoreintrag erörtert werden. Die restlichen planetaren Grenzen verfügen (noch) über keine wissenschaftlich beschriebenen globalen Kippunkte.

Grundsätzlich liegt der Wert des Modells der planetaren Grenzen darin, dass aufgezeigt werden kann, welche Erdsysteme noch stabil sind und welche Gefahr laufen destabilisiert zu werden oder schon instabil sind. Dennoch abstrahiert das Modell auf hohem

Niveau und lässt somit die Komplexität der globalen Umweltveränderungen im Hintergrund. Aus diesem Grund ist es maßgeblich, die durch das Modell erfolgte Reduktion der Komplexität zu reflektieren: „Komplexität wird nur mit den jeweils unterschiedlichen Elementen eines Systems und den ausgewählten Relationen dazwischen erfasst.“ (Kattmann, 2016, S. 336). Jede Reduktion basiert immer auf der Entscheidung des Betrachters, welche von der Natur nicht vorgegeben sind. Wird das Modell kritisch betrachtet, zeigt sich, dass wichtige Elemente durch die Reduktion verdeckt bleiben. So verdeckt das Modell die Zusammenhänge zwischen Kippunkten und Grenzen. Wird die Instabilität der Erdsysteme durch Überschreitung von Grenzen und Kippunkten im Unterricht thematisiert, müssen einerseits die Charakteristika der Grenzen und Kippunkte als auch deren Zusammenhang zusätzlich erarbeitet werden. Auch werden mit dem Modell weder die den planetaren Grenzen zugrundeliegenden naturwissenschaftliche Phänomene aufgezeigt (bspw. Ozeanversauerung durch CO₂-Absorption) noch die Interaktionen und Wechselwirkungen der einzelnen Grenzen oder deren Hierarchien (Klimawandel und Intaktheit der Biosphäre als wichtigste Grenzen). Auch findet keine räumliche Differenzierung statt und es werden keine lokalen, regionalen noch kontinentalen Unterschiede aufgezeigt. Dies wäre für die unterrichtliche Vermittlung jedoch besonders interessant, da es einen regionalen Bezug zur Lebenswelt der Lernenden schafft. Beispielsweise konnte das Eidgenössische Bundesamt für Umwelt aufzeigen, dass die Schweiz die Grenzen Klimawandel, biogeochemische Flüsse (besonders Stickstoff), Ozeanversauerung (aufgrund der CO₂ Emissionen) und Intaktheit der Biosphäre schweizweit überschritten hat (Dao et al., 2015). Des Weiteren wird nicht aufgezeigt, welche Lösungsmöglichkeiten für ein Agieren innerhalb des sicheren Handlungsraumes vorhanden sind. Doch genau dies wäre für die Umweltbildung besonders interessant, da wir Lösungen brauchen, um die Stabilität der Erdsysteme zu sichern.

Bei den Folgen der Instabilität betonen die Wissenschaftler/innen besonders die Gefahr für den Wohlstand der Menschen (DIE INSTABILITÄT DES ERDSYSTEMS BEDEUTET EINE GEFAHR FÜR DEN WOHLSTAND DER MENSCHEN). Die Autoren verdeutlichen, dass nicht die Erde, sondern der menschliche Wohlstand bewahrt werden soll.

Tabelle 3:

Vorstellungen der Wissenschaftler/innen zu den Folgen der Instabilität

Tab. 3 Wissenschaftler/innenvorstellungen	DENKFIGUR
<p>“A stable planet provides us with the ecosystems we’ve learned to love and exploit. It provides us with the functions and services we need, from clean air to healthy food. (...), we can fulfill our development needs and aspirations.” (Rockström & Klum, 2015)</p>	<p>DIE INSTABILITÄT DES ERDSYSTEMS BEDEUTET EINE GEFAHR FÜR DEN WOHLSTAND DER MENSCHEN</p>
<p>“The planet is subject to increasing anthropogenic impacts and is exhibiting global environmental change at an accelerating rate, eroding the natural capital that sustains human wellbeing and prosperity.” (Nash et al., 2017)</p>	
<p>“The Planetary Boundaries concept is not about saving the Planet (life will continue after humanity), but is about limiting the adverse impacts of human activities to a level that still enables the system Earth providing the essential functions for humanity in the most predictable and stable manner possible.” (Frischknecht et al., 2016).</p>	

Unsere gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Systeme basieren auf intakten und stabilen Ökosystemen. Deren Destabilisation führt schließlich auch zur Instabilität der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Systeme, welche unseren Wohlstand aufrechterhalten.

Die Wissenschaftler/innen erklären, dass die Stabilität der Erde dem Menschen gebe, was er brauche: Der Planet stellt *uns* ein Ökosystem zur Verfügung (*a stable planet provides us with ecosystems*), wobei ökosystemare Prozesse als *Service für uns* imaginiert werden (*the functions and services we need, from clean air to healthy food*). Die Erde ist eine Ressource für die Menschen geworden im Sinne des metaphorischen Konzepts *Erde Ist Ressource*. Diese anthropozentrische Sichtweise basiert auf einem Naturverständnis, welches der Natur Beachtung gibt, weil unsere Handlungen gegenüber der Natur auch

die Menschen beeinflusst (Kortenkamp & Moore, 2001; Yumusak, Özbas, Sargin & Baltaci, 2016).

Doch vielleicht braucht es heute gerade ein auf anthropozentrischen Sichtweisen basierendes Naturverständnis, um Umweltschutz durchsetzen zu können. Stabile Umweltbedingungen sind ein Grundbedürfnis der Menschen und wir sowie zukünftige Generationen sind auf sie angewiesen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist es zweckmäßiger, Umweltbedingungen zu schützen, bei denen wir mit Sicherheit wissen, dass sie menschenfreundlich sind.

6.2 Schüler/innenvorstellungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Vorstellungen der Lernenden im Bezug zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme im Rahmen des Modells der planetaren Grenzen aufgezeigt.

Tabelle 4:

Vorstellungen der Schüler/innen zu den Ursachen von Instabilität

Tab. 4 DENKFIGUREN	Beispielzitate
INSTABILITÄT DURCH MENSCHHEIT	„Wir Menschen verdanken uns das selbst, dass wir uns momentan definitiv in einer instabilen Phase (der Erde) befinden.“ (Ivo)
	„Ich habe mal gelesen, dass alle Menschen aussterben müssen, damit sich Erde regenerieren kann.“ (Klara)
INSTABILITÄT DURCH BEVÖLKERUNGSWACHSTUM	„Das Ansteigen der Erdbevölkerung hat zum Überschreiten der Grenzen geführt und zur Instabilität.“ (Damian)
	„Es gibt mehr Menschen und mehr Menschen brauchen mehr Energie, weil auch jeder einzelne Mensch dann auch noch mehr braucht über jedes Jahr und das hat natürlich auch direkte Folgen für das Artensterben, das Abholzen von Regenwäldern und das Schmelzen von Eis und auf die weiteren Bereichen (Destabilisation der Grenzen).“ (Ivan)
	„Das Bevölkerungswachstum könnte einen Kollaps der Erde verursachen.“ (Damian)

Die Beispielzitate der Lernenden beleuchten die bei den Lernenden vorherrschende Vorstellung, dass die Menschen als Ganzes ursächlich für die Instabilität sind (INSTABILITÄT DURCH MENSCHHEIT). Die Erde sei bis anhin in einer stabilen Phase gewesen und nun durch die Menschen instabil geworden. Durch den Einfluss des Menschen verliere das Ökosystem die Fähigkeit sich wieder selbst zu stabilisieren. Es zeigt sich, dass die Lernenden den Einfluss des Menschen auf die Umwelt generell als Problem sehen – unabhängig von dessen Qualität und Quantität. Sie erkennen nicht, dass es schlussendlich auf die Art und Weise der Beeinflussung ankommt.

Obwohl das Modell der planetaren Grenzen keine soziale Dimensionen aufzeigt, sprechen die Lernenden im Rahmen der Diskussion des Modells soziale

Dimensionen an: Sie begründen die gesteigerte Belastung der Umwelt besonders durch die wachsende Bevölkerung (INSTABILITÄT DURCH BEVÖLKERUNGSWACHSTUM). Die Lernenden zeigen die Vorstellung auf, dass durch das *Mehr* an Bevölkerung ein *Mehr* an Umweltzerstörung und schließlich Destabilisation der Erdsysteme stattfindet. Die durch das Bevölkerungswachstum ausgelöste Instabilität könne zu einem Kollaps der Erde und somit zu deren Ende führen im Sinne des metaphorischen Konzepts *Bevölkerungswachstum Ist Kollaps*. Dass die Lernenden die (zerstörerische) Menschheit entsprechend des metaphorischen Konzepts *Menschen Sind Zerstörer* pauschal als Treiber der Instabilitäten sehen, wird insbesondere dadurch deutlich, dass sie erst eine Regeneration der Erde sehen, wenn die Menschheit ausgestorben sei.

Tabelle 5:

Vorstellungen der Schüler/innen zur Bedeutung von Stabilität und Instabilität der Erdsysteme

Tab. 5 DENKFIGUREN	Beispielzitate
STABILITÄT DURCH LEBENSFREUNDLICHE UMWELTBEDINGUNGEN	„An den Orten, wo Städte gebaut wurden, war das Klima sehr stabil. In der Wüste, der Antarktis oder der Arktis kann man keine Städte bauen oder nur mit viel Aufwand. Ja, deshalb, Stabilität ist ein Vorteil.“ (Dieter)
STABILITÄT DURCH UNGESTÖRTE UMWELT	„Ohne den Menschen schafft es das Ökosystem, die Natur, sich noch selber zu stabilisieren.“ (Urs)
	„Die Erde als System kann die Stabilität im Normalfall wieder finden. Aber nicht durch die menschlichen Veränderungen.“ (Cleopatra)
INSTABILITÄT DURCH KATA- STROPHEN	„Die Stabilität war wichtig. Wenn alle paar hundert oder tausend Jahre eine Dürre, Überschwemmung oder Überflutung stattgefunden hätte, dann wäre wahrscheinlich die Zivilisation die sich da aufgebaut hatte wieder zerstört worden.“ (Damian)
	„Hurricanes führen zu Instabilität.“ (Anna)
MEHR INSTABILITÄT DURCH MEHR GRENZÜBERSCHREITUNG	„Das Überschreiten der Grenzen verursacht immer mehr Instabilität.“ (Anna)
	„Wenn eine Grenze überschritten wird, geht die Stabilität der Erde immer mehr verloren.“ (Katrin)
KIPPPUNKT IST KRITISCHE GRENZE OHNE ZURÜCK	„Kippunkte sind kritische Grenzen, bei deren Überschreitung es kein Zurück mehr gibt. Die Umwelt kann da nicht mehr in den normalen Bereich zurückgehen und wir haben sie komplett zerstört.“ (Ivo)
	„Die rote Linie ist ein Kippunkt, wo es zu größeren Auswirkungen kippt. Mir ist unklar, ob es auch umgekehrte Kippunkte gibt, wo es wieder zum Guten kippt. Ich denke aber, dass es sich an den Kippunkten nur zum Schlechten wendet.“ (Florina)

Die Lernenden beschreiben Stabilität über Umweltbedingungen, welche für den Aufbau einer Zivilisation besonders förderlich sind: Wo es sehr heiß oder sehr kalt ist, kann sich keine Zivilisation entwickeln und aus diesem Grund ist es an diesen Orten instabil (STABILITÄT DURCH LEBENSFREUNDLICHE UMWELTBEDINGUNGEN). Die Lernenden zeigen mit diesem Verständnis von Stabilität eine anthropozentrische Sichtweise auf: Die Umwelt ist dort stabil, wo sie die Entwicklung der Menschen fördert. Instabilität zeigt sich durch menschenunfreundliche Lebensbedingungen. Ähnliche Positionen konnte schon Pointon (2014) aufzeigen. Ein Großteil der Schüler/innen zeigte utilitaristische Perspektiven zur Natur auf: Die Umwelt bringt den Menschen den Nutzen, sich entwickeln zu können.

In den Vorstellungen spielt der Faktor Zeit für das Verständnis von Stabilität eine wichtige Rolle: Es

darf *andauernd* keinen Einfluss durch die Menschen stattfinden und die Umwelt muss *dauerhaft* ungestört bleiben (STABILITÄT DURCH UNGESTÖRTE UMWELT). Die Vorstellung zeigt auf, dass die Menschen nicht als Teil des Umweltsystems betrachtet werden, sondern als Gegenüber (*Menschen Sind Gegenüber der Natur*, vgl. auch Kattmann, 2016). Die Lernenden konstruieren dabei ein Umweltsystem, das die Menschen ausgrenzt. Den Menschen auszugrenzen ist jedoch vor dem Hintergrund der Evolutionstheorie höchst problematisch. Solche Vorstellungen müssen im Unterricht reflektiert werden, wobei Chi (2008) und Vosniadou (2014) vorschlagen die ontologische und epistemologische Entwicklung dieser Vorstellung mit den Lernenden zu reflektieren. Nicht Ausgrenzung, Aussterben oder Zerstörung, sondern dass sich die Menschen in einer stabilen und intakten Umwelt entwickeln können, ist der Weg.

Problematisch scheint auch die Alltagsvorstellungen INSTABILITÄT DURCH KATASTROPHEN. Meist sind es die langfristigen und vor allem dauerhaften Veränderungen, welche zum Überschreiten von Grenzen wie dem Artensterben, der Ozeanversauerung oder dem Klimawandel führen. Die Lernenden argumentieren hier mit einem Katastrophenschema, wobei Naturkatastrophen mit einer chaotischen Instabilität assoziiert werden. Auch hier zeigt sich die Relevanz des Faktors Zeit im Bezug zum Verständnis von Stabilität und Instabilität: Die Lernenden denken im Gegensatz zu den Wissenschaftler/innen in anderen zeitlichen Dimensionen. Relativ zum Holozän kurzfristige instabile Phasen, erklärt durch Katastrophen, werden von den Lernenden unmittelbar als Instabilität konzeptualisiert. Die Lernenden erkennen nicht, dass der Zustand der Erde trotz kurzfristigen instabilen Phasen über eine größere Zeitspanne hinaus als stabil bezeichnet werden kann. Katastrophen werden als Zeichen der Instabilität verstanden, welche sich bei Wiederholung zu einer immer größeren Instabilität summieren. Vorstellungen wie es zu dieser Instabilität durch Katastrophen kam, werden nicht deutlich und es bleibt bei einer assoziativen Aufzählung, ohne dass der Zusammenhang zwischen den Katastrophen und der Instabilität aufgezeigt werden kann.

Ein *Mehr* an Grenzüberschreitung wird bei den Lernenden auch mit einem *Mehr* an Instabilität assoziiert: Die Überschreitung von Grenzen führe zu einer immer größeren Instabilität der Erde (MEHR INSTABILITÄT DURCH MEHR GRENZÜBERSCHREITUNG).

Die Vorstellung zeigt das den Lernenden zugrundeliegende lineare Denken auf: Je mehr A desto mehr B. Doch diese Übergänge zu einem instabilen Zustand erfolgen oft (aber nicht immer) – im Gegensatz zur vorangehenden stabilen Phase – relativ schnell oder abrupt. Die Lernenden sprechen dabei einen ökologischen Kipppunkt an, welchen sie als kritische Grenze assoziieren, gemäß ihrer Vorstellung plaziert vor der *high risk zone* oder roten Zone des Modells. Sie beschreiben, dass ab einer gewissen kritischen Grenze keinerlei Stabilisation mehr stattfinden und es – entsprechend linearen Denkens – nur noch schlechter werden könne. Die Lernenden unterscheiden folglich nicht zwischen im Sinne des Vorsorgeprinzips normativ gesetzten planetaren Grenzen und ökologischen Kipppunkten.

Zum Themenbereich Folgen von Instabilität zeigen die Lernenden unterschiedliche Vorstellungen auf. Es wird bei den Lernenden die Vorstellung deutlich, dass die sich destabilisierenden Ökosysteme nicht nur die Menschen und die Arten, sondern die Erde als Ganzes bedrohen (DIE INSTABILITÄT DES ERDSYSTEMS BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN PLANETEN). Die Lernenden prophezeien damit den Untergang der Erde selbst, entsprechend des metaphorischen Konzepts *Erde Ist Person*. Dabei wird von „Zeichen“ der Instabilität gesprochen, meist exemplifiziert mit Naturkatastrophen.

Tabelle 6:

Vorstellungen der Schüler/innen zu den Folgen von Instabilität

Tab. 6 DENKFIGUREN	Beispielzitate
DIE INSTABILITÄT DES ERDSYSTEMS BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN PLANETEN	„Also es kommen schon die Zeichen (der Instabilität), und irgendwann wird der Erde etwas Schlimmes passieren, dass es einfach keine Menschen mehr gibt oder dass einfach alles so kaputt geht.“ (Simon)
INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DIE EXISTENZ DER MENSCHEN	„Instabilität führt zum Aussterben der Menschen. Eine Eiszeit oder extrem heißes Wetter würde die Menschheit nicht überleben.“ (Wada)
	„Instabilität kann die menschliche Population gefährden.“ (Anton)
INSTABILITÄT BEDEUTET ARTENAUSSTERBEN	„Ja, die Stabilität ist notwendig, dass eine Art überlebt.“ (Ivan)
	„Das Klima wird durch CO2 erwärmt, was wiederum dazu führt, dass Arten sterben. Zum Beispiel Eisbären, weil das ganze Eis schmilzt oder verschiedene Insekten, weil es ihnen zu warm ist, Vögel, Fische, weil sie einfach mit den Temperaturunterschieden nicht mehr mitkommen.“ (Cleopatra)

Die Instabilität gefährdet auch das Überleben der Menschheit (INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DIE EXISTENZ DER MENSCHEN). Die Lernenden erläutern, dass ohne stabile Erdsysteme, das Leben auf der Erde nicht möglich oder sehr schwierig sei. Sie zeigen auch die Vorstellung auf, dass diese Instabilität das Überleben der Arten gefährdet (INSTABILITÄT BEDEUTET ARTENAUSSTERBEN). Dabei zeigt sich eine Konfusion auf der Ebene Individuum – Population – Art: Eine Art kann lokal aussterben, sodass die Population verschwindet, doch die Art selbst ist trotzdem noch an anderen Orten vorhanden. Bei den Folgen von Instabilität zeigen die Lernenden eher eine holistisch ökozentrische Sichtweise auf. Aus der ökozentrischen Sichtweise heraus erhalten alle Bestandteile der Natur einen Eigenwert, wobei kein Lebewesen dem anderen übergeordnet ist (Caciuc, 2014; Drenthen, 2011). Caciuc (2014) betont die Relevanz der ökozentrischen Sichtweise für die Umweltbildung: Der Natur einen intrinsischen Eigenwert zu geben, ermöglicht ihr gegenüber eine respektvollere Beziehung.

7. Diskussion

Die Analyse der Vorstellungen machte deutlich, dass bei der Ursache von Instabilität der Erdsysteme die Lernenden wie auch Wissenschaftler/innen in ihrer Basis die gleiche Vorstellung aufweisen: INSTABILITÄT DURCH MENSCHEN. Im Gegensatz zu den Lernenden differenzieren die Wissenschaftler/innen zwischen verursachenden und darunter leidenden Gesellschaftsgruppen und Nationen, während die Lernenden die Menschheit als Ganzes als Ursache sehen. Weitere Unterschiede zwischen den Vorstellungen zeigen sich beim Verständnis von ökologischer Stabilität. Auch legen beide in den Folgen von Instabilität unterschiedliche Schwerpunkte. Folgend werden zusammengefasst die Denkfiguren zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme dargestellt (Tab. 7). Aus der Gegenüberstellung werden Leitlinien für die Vermittlung erarbeitet.

Tabelle 7:

Vergleich der Vorstellungen und davon abgeleitete Leitlinien

Tab. 7	Denkfiguren der Wissenschaftler/innen	Denkfiguren der Schüler/innen	Leitlinien für den Unterricht
7.1	<p>INSTABILITÄT DURCH EXPONENTIELL WACHSENDEN EINFLUSS DES MENSCHEN</p> <p>INSTABILITÄT DURCH WIRTSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN DER OECD UND BRICS STAATEN</p>	<p>INSTABILITÄT DURCH MENSCHLICHKEIT</p> <p>INSTABILITÄT DURCH BEVÖLKERUNGSWACHSTUM</p>	Die Lernenden sollen das Bevölkerungswachstum als Ursache für die Destabilisation der Erdsysteme kritisch reflektieren und die Art der wirtschaftlichen Aktivitäten als destabilisierenden Faktor erkennen.
7.2	<p>STABILITÄT BEDEUTET MODERATE VARIABILITÄT INNERHALB DER MENSCHENFREUNDLICHEN EPOCHE HOLOZÄN</p> <p>INSTABILITÄT DURCH GRADUELLE ÄNDERUNG</p>	<p>STABILITÄT DURCH LEBENSFREUNDLICHE UMWELTBEDINGUNGEN</p> <p>STABILITÄT DURCH UNGESTÖRTE UMWELT</p> <p>INSTABILITÄT DURCH KATASTROPHEN</p>	Die Lernenden sollen die Stabilität der Erdsysteme als moderate Variabilität innerhalb der Zeitepoche Holozän erkennen und die Instabilität des Erdsystems über graduelle und bleibende Umweltveränderungen verstehen.
7.3	INSTABILITÄT DURCH ÜBERSCHREITUNG VON GRENZEN UND KIPPPUNKTEN	MEHR INSTABILITÄT DURCH MEHR GRENZÜBERSCHREITUNG	Die Lernenden sollen den Zusammenhang zwischen Grenzen und Kippunkten verstehen und den probabilistischen Charakter des Modells erkennen.
7.4	INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN WOHLSTAND DER MENSCHEN	<p>INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN PLANETEN</p> <p>INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DIE EXISTENZ DER MENSCHEN</p> <p>INSTABILITÄT BEDEUTET ARTENAUSSTERBEN</p>	Die Lernenden sollen die Gefahr der Instabilität für die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Systeme erkennen sowie die Stabilität und Instabilität der Erdsysteme aus dem anthropozentrischen und ökozentrischen Blickwinkel betrachten.

7.1 Anthropogene Ursachen von Instabilität

Die Lernenden und Wissenschaftler/innen sehen beide menschliche Einflüsse als Ursache für die Instabilität der globalen Erdsysteme. Im Gegensatz zu den Lernenden unterscheiden die Wissenschaftler/innen zwischen unterschiedlichen Ländern und Gesellschaftsgruppen, welche verstärkt für die Überschreitung der Grenzen verantwortlich sind als andere. Trotzdem wird bei den Erklärungen für die Ursachen der globalen Umweltveränderungen in den analysierten Publikationen meist generalisiert von

Menschen, menschlichen Handlungen, anthropogenen Einflüssen etc. gesprochen. Die Denkfigur INSTABILITÄT DURCH EXPONENTIELL WACHSENDEN EINFLUSS DES MENSCHEN ist dabei vorherrschend. Metaphorisch wird umschrieben, dass anthropogener Druck die Erdsysteme destabilisiert (*Anthropogener Druck Ist Destabilisation*). Die Lernenden begründen die Instabilität durch die zerstörerischen Handlungen der Menschen als Ganzes – entsprechend des metaphorischen Konzepts *Menschen Sind Zerstörer*. Die Menschen als ein einzelnes, monolithisches Ganzes zu beschreiben (INSTABILITÄT

DURCH MENSCHHEIT), ignoriert die Tatsache, dass bis anhin nur ein kleiner Teil der Weltbevölkerung für die globalen Umweltveränderungen verantwortlich waren. Trotzdem wird die Instabilität auf die wachsende Weltbevölkerung zurückgeführt (INSTABILITÄT DURCH BEVÖLKERUNGSWACHSTUM). Sie machen somit im Gegensatz zu den Wissenschaftler/innen die Zahl der Menschen und nicht die Art ihrer Aktivitäten für die Instabilität verantwortlich. Diese Vorstellung ist fachlich nicht adäquat, da das Gros des Bevölkerungswachstums in den Entwicklungsländern stattfindet, die sowohl qualitativ als auch quantitativ am wenigsten zum globalen Wandel beitragen. Eine solche – fachlich falsche – Argumentation war geschichtlich häufig Grundlage für völkische Ideologien. Betrachtet man diese Vorstellung aus der Perspektive der CO₂-Emissionen, konnte gezeigt werden, dass das Bevölkerungswachstum und die Erhöhung der CO₂-Emissionen voneinander entkoppelt sind. Ein großer Teil der Menschen ist kein Teil der fossilen Wirtschaftsindustrie und fast ein Drittel der Menschheit hat keinen Zugang zu Elektrizität. Ihre CO₂ Emissionen sind gleich null (Malm & Hornborg, 2014). Gemäß Steffen et al. (2015b) fand das größte Bevölkerungswachstum nicht in den OECD Ländern statt, doch die Weltwirtschaft wird von den OECD und inzwischen auch den BRICS Nationen angeführt (INSTABILITÄT DURCH WIRTSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN DER OECD UND BRICS STAATEN).

Mit dem Modell der planetaren Grenzen wird nicht zwischen unterschiedlichen verursachenden und unter den Folgen leidenden Gesellschaftsgruppen und Ländern unterschieden. Für die unterrichtliche Vermittlung ist es deshalb wichtig, nicht allgemein von Menschheit (humanity), Gesellschaft (society), menschlichen Handlungen (human actions) als Ursache von Instabilität zu sprechen, sondern von den Menschen in wirtschaftlich fortgeschrittenen Ländern als maßgebliche geoökologische Treiber globaler Umweltveränderungen. Die Lernenden sollen erkennen, dass das Bevölkerungswachstum von den zunehmenden globalen Umweltveränderungen entkoppelt ist. Damit kann auch den metaphorischen Konzepten *Menschen Sind Zerstörer* und *Bevölkerungswachstum Ist Kollaps* entgegengewirkt werden. Aus den Erläuterungen kann die Leitlinie *Die Lernenden sollen das Bevölkerungswachstum als Ursache für die Destabilisation der Erdsysteme kritisch reflektieren und die Art der wirtschaftlichen*

Aktivitäten als destabilisierenden Faktor erkennen abgeleitet werden.

7.2 Verständnis von Stabilität und Instabilität

Die Lernenden definieren Stabilität unter anderem über ein dauerndes Ungestört-Lassen oder Belassen der Umwelt (STABILITÄT DURCH UNGESTÖRTE UMWELT). Menschliche Interventionen in die Natur werden dabei negativ bewertet (Korfiatis, Hovardas, Tsaliki & Palmer, 2009; Hovardas & Korfiatis, 2011). Aus evolutionstheoretischer Sicht ist dies problematisch, da die Menschen schon immer Einfluss auf die Umwelt genommen haben: Es geht eher um die Frage der Quantität und Qualität dieses Einflusses. Hierbei kann ein Perspektivenwechsel helfen, indem die Menschen und ihre Handlungen als Teil der Natur anstatt als Gegenüber betrachtet werden (Kattmann, 2016)

Die Denkfigur STABILITÄT DURCH MENSCHENFREUNDLICHE UMWELTBEDINGUNGEN zeigt auf, dass die Lernenden Stabilität auch anthropozentrisch über Lebensbedingungen definieren, welche für die menschliche Entwicklung besonders förderlich sind. Die Umwelt erhält Beachtung, weil deren Zustand Wirkungen auf die Menschen zeigt (Kortenkamp & Moore, 2001; Yumusak, Özbas, Sargin & Baltaci, 2016). Diese anthropozentrische Sichtweise kann auch bei den Wissenschaftler/innen ausgewiesen werden (STABILITÄT BEDEUTET MODERATE VARIABILITÄT INNERHALB DER MENSCHENFREUNDLICHEN EPOCHE HOLOZÄN). Doch ökologische Stabilität definiert sich nicht über lebensfreundliche Umweltbedingungen, sondern über die Fähigkeit eines Systems wieder in einen stabil erscheinenden Zustand zurückzukehren (Campbell & Reece, 2009). Ob nun dieser Zustand menschenfreundlich oder unfreundlich ist, sagt nichts über die Stabilität eines Systems aus. Die von den Wissenschaftler/innen ausgedrückte anthropozentrische Sichtweise muss jedoch durch den Hintergrund des Modells der planetaren Grenzen betrachtet werden: Das Modell wurde gerade eben dazu entwickelt, aufzuzeigen, welche Erdsysteme durch übermäßige Belastung destabilisiert werden, um den Wohlstand der Menschheit zu sichern. Damit werden politische und ökonomische Entscheidungsträger adressiert, da auch sie aus sozioökonomischen Gründen Interesse an stabilen Umweltbedingungen haben. Im Gegensatz zu den Lernenden erfassen die Wissenschaftler/innen, dass die Erdsysteme innerhalb einer bestimmten Variabili-

tätsbreite der Epoche Holozän ständigen Veränderungen ausgesetzt sind. Hier setzt das Modell der planetaren Grenzen an, indem es moderate Variabilitäten als sicher (*below boundary safe zone*) und darüber hinausgehende Variabilitäten als unsicher bzw. gefährlich (*in zone of uncertainty, increasing risk/ beyond zone of uncertainty, high risk*, vgl. Abb. 1) beschreibt. Die Lernenden nehmen auch die zeitdimensionale Relativität der Stabilität nicht wahr. Sobald sich innerhalb relativ kürzerer Zeit größere Naturkatastrophen ereignen, wird dies als Instabilität interpretiert (INSTABILITÄT DURCH KATASTROPHEN). Doch während des Holozäns gab es eine Vielzahl an Naturkatastrophen und trotzdem wird das Holozän als relativ stabil bezeichnet. Schließlich sind es die graduell langfristigen und dauerhaften Veränderungen, die zur Instabilität führen (INSTABILITÄT DURCH GRADUELLE ÄNDERUNG). Auch Kattmann (2016) erklärt, dass ökologische Stabilität sich durch die Messung von Prozessen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auszeichnet. Ein System kann über einen Zeitraum im Mittel als stabil bezeichnet werden, auch wenn während dieses Zeitraumes instabile Phasen vorhanden waren.

Zusammengefasst zeigt sich, dass Wissenschaftler/innen ein abstraktes Verständnis aufweisen, wenn sie von einem *stabilen Erdsystem* sprechen. Doch aufgrund ihrer zusätzlichen wissenschaftlichen Kenntnisse, können sie diese Stabilität in Relation mit anderen stabilen bzw. instabilen Zeiträumen erdgeschichtlicher Epochen setzen und sind sich somit der Begrenztheit und Weite des Begriffs *Stabilität* bewusst. Um den Lernenden die Stabilität durch Instabilität erfahrungsbasiert zu vermitteln, können sie dazu aufgefordert werden innerhalb eines bestimmten Zeitraums ohne jegliche Bewegung stehen zu bleiben (Anknüpfung an Körpererfahrungen). Sie werden merken, dass es unmöglich ist, versteinert zu stehen und sie ihre Stabilität während der Dauer des Stillstehens mit leichten Gegenbewegungen (instabile Phasen) aufrechterhalten müssen. Diese Übung ermöglicht ihnen nicht nur die der Stabilität unterliegenden instabilen Phasen zu erkennen, sondern auch den dazugehörigen Zeitraum. Aus den Erläuterungen kann die Leitlinie *Die Lernenden sollen die Stabilität der Erdsysteme als moderate Variabilität innerhalb der Zeitepoche Holozän erkennen und die Instabilität des Erdsystems über graduelle und bleibende Umweltveränderungen verstehen* abgeleitet werden.

7.3 Instabilität durch Überschreitung biophysikalischer Grenzen

Die Wissenschaftler/innen zeigen die Vorstellung auf, dass die Überschreitung von Kippunkten und Grenzen zur Instabilität des Erdsystems führt (INSTABILITÄT DURCH ÜBERSCHREITUNG VON GRENZEN UND KIPPPUNKTEN). Während die Lernenden davon ausgehen, dass ein *Mehr* an Grenzüberschreitung zu einem *Mehr* an Instabilität führt (MEHR INSTABILITÄT DURCH MEHR GRENZÜBERSCHREITUNG). Sie zeigen dabei ein lineares Denken: Je mehr A desto mehr B. Doch diese Übergänge sind meist (aber nicht immer) abrupt und nicht linear. Wird ein Kippunkt eines Ökosystems überschritten, kann abrupt ein Wechsel in einen neuen Zustand stattfinden. In diesem Zusammenhang muss mit den Lernenden auch thematisiert werden, dass es sich bei der Überschreitung von Grenzen und Kippunkten um Wahrscheinlichkeiten handelt. Die Wissenschaftler/innen können nicht genau sagen, wann ein entsprechender Kippunkt eines Ökosystems erreicht wird. Das Modell beinhaltet probabilistische Aussagen darüber, ab wann die Instabilität eines bestimmten Erdsystems eintritt: Ab einer bestimmten Belastung wird ein Wechsel zu einem neuen Zustand deutlich wahrscheinlicher, aber nicht mit Sicherheit vorhersagbar. Schlussendlich handelt es sich um ein konstruiertes Modell und die Wissenschaftler/innen entscheiden, wo sie die Grenzen und Kippunkte ziehen möchten und welche Teilelemente das Modell haben soll. Gemäß Chi (2008) können solche Modelle den Lernenden helfen vernetztes Denken zu fördern und mit abstrakten Phänomenen zurechtzukommen, doch nur, wenn sie reflektiert eingesetzt werden. Da das Modell der planetaren Grenzen die globalen Umweltveränderungen nicht vollumfänglich darstellen kann, sollte die ontologische und epistemologische Entwicklung des Modells mit seinen Grenzen und Kippunkten im Unterricht thematisiert werden (Vosniadou, 2013). Die Lernenden müssen verstehen, was beim Übergang von den wahrgenommenen Umweltveränderungen zur Modellbetrachtung geschieht (Vosniadou, 2014). Aus den Erläuterungen kann die Leitlinie *Die Lernenden sollen den Zusammenhang zwischen Grenzen und Kippunkte verstehen und den probabilistischen Charakter des Modells erkennen* abgeleitet werden. Gemäß Chi (1994) bieten fachwissenschaftliche Modelle eine Basis abstrakte Phänomene fachlich

adäquater und aus unterschiedlichen Perspektiven zu verstehen.

7.4 Folgen der Instabilität aus anthropozentrischer und ökozentrischer Perspektive

Im Gegensatz zu den Lernenden stellen die Wissenschaftler/innen stärker die sozialen Folgen der Instabilität in den Mittelpunkt, da sie davon ausgehen, dass die Ökosysteme sich verändern, aber auf einem anderen Level wieder einpendeln. Nur sind diese dann weniger lebensfreundlich für bisherige Zivilisationen. Die Instabilität der Erdsysteme gefährdet somit hauptsächlich die Stabilität der sozialen und wirtschaftlichen Systeme. Die drastischen sozialen Folgen, welche die Klimaerwärmung mit sich bringt, werden in den Vordergrund gestellt. Auch nimmt die umweltbedingte Migration in Entwicklungsländern zu. Inzwischen überschreitet die Zahl der Umwelt- und Klimavertriebenen die Zahl der Kriegsflüchtlinge (Niebert, 2015). Werden von den Wissenschaftler/innen die ökologischen Schäden angesprochen, dann immer mit dem Hintergrund, welche Wirkungen diese Schäden schließlich auf den Wohlstand und die Sicherheit der Menschheit haben (vgl. *sicherer Handlungsraum für die Menschheit*, Rockström et al., 2009). Die Erde ist eine Ressource für die Menschen geworden (ERDE IST RESSOURCE). Diese Kommodifizierung der Natur, in der die Erde mit ihren Systemen zur Ware wird, überträgt ökonomische Denkweisen metaphorisch in die Naturwissenschaften. Mit diesen ökonomischen Metaphern soll die Natur als schutzbedürftig anerkannt werden, weil der Mensch ein Überlebens- und Entwicklungsinteresse hat („we can fulfill our development needs and aspirations“, Rockström & Klum, 2015, S. 118). Die Autoren verdeutlichen damit, dass nicht die Erde, sondern der menschliche Wohlstand vor den Strukturen, die ihn geschaffen haben, gerettet werden sollen (INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN WOHLSTAND DER MENSCHEN). Im Vergleich zu den Wissenschaftler/innen begründen die Lernenden die Folgen eher aus einer ökozentrischen Perspektive und benennen hauptsächlich ökologische Folgen der globalen Umweltveränderungen, ohne deren Bedeutung für die sozioökonomischen Systeme zu erfassen. Beispielsweise wird das durch die Klimaerwärmung ausgelöste Artensterben von den Lernenden oft aufgeführt (INSTABILITÄT BEDEUTET ARTENAUSSTERBEN).

Welchen Einfluss das Artensterben für die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Systeme hat, wird nicht erkannt. Auch zeigte sich bei den Lernenden eine Konfusion auf der Ebene Individuum – Population – Art. Eine Art kann global trotzdem noch vorhanden sein, auch wenn sie lokal ausgestorben ist. Die Lernenden gehen noch weiter und prophezeien nicht nur den Untergang der Menschen (INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DIE EXISTENZ DER MENSCHEN), sondern auch der Erde selbst (INSTABILITÄT BEDEUTET GEFAHR FÜR DEN PLANETEN). Die sich destabilisierenden Ökosysteme bedrohen die Erde als Ganzes. Aus dieser holistisch, ökozentrischen Sicht erhält die Natur aufgrund ihres intrinsischen Werts moralische Bedeutung und sie sei um ihrer selbst willen zu schützen (Gorke, 2006). Wie wir mit den aktuellen ökologischen Krisen wie Artenverlust, Klimaerwärmung usw. umgehen, hängt somit stark davon ab, wie wir unsere Beziehung mit der Umwelt definieren (Kortenkamp & Moore, 2001). Dass die Wissenschaftler/innen anthropozentrisch über die Bedürfnisse der Menschen hin argumentieren, ist eine Perspektive, welche im Unterricht reflektiert werden muss. Es ist wichtig, dass in der unterrichtlichen Vermittlung beide Perspektiven an Bedeutung erhalten. Thompson und Barton (1994) konnten beispielsweise zeigen, dass ökozentrisch begründeter Umweltschutz im Unterricht bei den Lernenden oft eine größere Motivation auslöst, die Umwelt zu schützen. Die ökozentrische Perspektive zeigt auf, dass wir uns als ein Teil eines größeren Kontexts sehen sollen, welcher sich nicht nur um die Menschen dreht und kein Lebewesen dem anderen übergeordnet sein soll (Drenthen, 2011). Während die anthropozentrische Perspektive helfen kann, die Folgen einer Überschreitung der planetaren Grenzen und damit die Destabilisierung von Erdsystemen aus einer fachlicheren Perspektive zu betrachten: Es wird eben nicht, wie bei den Lernenden impliziert, der Planet zerstört, sondern höchstens der Planet, wie wir ihn kennen – und wie er für komplexe menschliche Gesellschaften die notwendigen Lebensgrundlagen bietet. Aus den Erläuterungen kann die Leitlinie *Die Lernenden sollen die Gefahr der Instabilität für die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Systeme erkennen sowie die Stabilität und Instabilität der Erdsysteme aus dem anthropozentrischen und ökozentrischen Blickwinkel betrachten* abgeleitet werden. Die Lernenden sollen den Wert der Natur an sich, aber auch für ihr Leben, erfassen (Loughland, Reid, Walker & Petocz, 2003).

Literatur

- Aeppli, J., Gasser, L., Gutzwiller, E., & Tettenborn, A. (2014). *Empirisches wissenschaftliches Arbeiten: Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag.
- Bass, S. (2010). Keep Off The Grass. Commentary. *Nature Reports*. Vol 3. 113.
- Campbell, N., Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wassermann, S., Minorsky, P. & Jackson, R. (2014). *Campbell Biology*. Boston: Pearson.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Hrsg.), *International handbook of research on conceptual change* (S. 61–82). New York: Routledge.
- Chi, M. T., Slotta, J., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1), 27-43.
- Caciuc, V. T. (2014). Ecocentric reflections on the realization of environmental education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 137, 93-99.
- Dao, H., Friot D., Peduzzi, P., Chatenoux, B., De Bono, A. & Schwarzer, S., (2015). *Environmental limits and Swiss footprints based on Planetary Boundaries*. UNEP/GRID-Geneva & University of Geneva, Geneva, Switzerland.
- Drenthen, M. (2011). Ecocentrism as anthropocentrism. *Ethics, Policy & Environment*, 14(2), 151-154.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905-923.
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Parchmann, I. & Komorek, M. (2012). The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe* (S. 13–38). Rotterdam: Sense Publishers
- Ergazaki, M., & Ampatzidis, G. (2012). Students' reasoning about the future of disturbed or protected ecosystems & the idea of the 'balance of nature'. *Research in Science Education*, 42(3), 511-530.
- Frischknecht, R., Stolz, P., & Tschümperlin, L. (2016). National environmental footprints and planetary boundaries: from methodology to policy implementation 59th LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, June 12, 2015. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(4), 601-605.
- Glaserfeld, E. (2008). Learning as a constructive activity. *AntiMatters*, 2(3), 33-49.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung, In Mayring, P. & Glaeser-Zikuda, M. (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. (172-189). Beltz: Weinheim und Basel.
- Gropengiesser, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In Krüger, D., & Vogt, H. (Hrsg.). *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. (S. 105-112). Berlin: Springer-Verlag.
- Gorke, M. (2006). Prozessschutz aus Sicht einer holistischen Ethik. *Natur und Kultur*, 7(1), 88-107.
- Hamann, M., & Asshoff, R. (2015). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht: Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Friedrich Verlag.
- Hovardas, T., & Korfiatis, K. (2011). Towards a critical re-appraisal of ecology education: Scheduling an educational intervention to revisit the 'balance of nature' metaphor. *Science & Education*, 20(10), 1039-1053.
- Johnson, M. (1987). *The body in the mind—the bodily basis of meaning, imagination, and reason*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kattmann, U. (2016). *Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht; zusätzliche Stichwörter zum Download*. Aulis Verlag.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In Krüger, D., & Vogt, H. (Hrsg.). *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. (S. 81-92). Berlin: Springer-Verlag.
- Korfiatis, K., Hovardas, T., Tsaliki, E. & Palmer, J (2009). Rural Children's Views on Human Activities and Changes in a Greek Wetland. *Society and Natural Resources*, 22(4), 339-352.
- Kortenkamp, K. V., & Moore, C. F. (2001). Ecocentrism and anthropocentrism: Moral reasoning about ecological commons dilemmas. *Journal of Environmental Psychology*, 21(3), 261-272.

- Laatz, W. (1993). *Empirische Methoden. Ein Lehrbuch für Sozialwissenschaftler*. Thun: Deutsch.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive science*, 4(2), 195-208.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago press.
- Loughland, T., Reid, A., Walker, K., & Petocz, P. (2003). Factors influencing young people's conceptions of environment. *Environmental Education Research*, 9(1), 3-19.
- Malm, A., & Hornborg, A. (2014). The geology of mankind? A critique of the Anthropocene narrative. *The Anthropocene Review*, 1(1), 62-69.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz
- Menzel, S., & Bögeholz, S. (2008). Was fördert eine Bereitschaft von Oberstufenschüler (inne) n, die Biodiversität zu schützen? Eine standardisierte Befragung in Anlehnung an die Value-Belief-Norm-Theorie. *Umweltpsychologie*, 12(2), 105-122.
- Nash, K. L., Cvitanovic, C., Fulton, E. A., Halpern, B. S., Milner-Gulland, E. J., Watson, R. A., & Blanchard, J. L. (2017). Planetary boundaries for a blue planet. *Nature ecology & evolution*, 1(11), 1625.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In: Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. (S. 121-132). Berlin: Springer.
- Niebert, K. (2014). Die nachhaltigen Zwillinge. In: Bodenbender, W., Schwendy, A., Steinke, J. & Buder, N. *TUP Theorie und Praxis der Sozialen Arbeit*. (S. 102 – 112). Weinheim: Beltz Juventa
- Niebert, K. & Gropengiesser, H. (2015). Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching. *International Journal of Science Education*, 37(5), 903-933.
- Niebert, K (2015). Gerechtigkeit im Anthropozän: Warum Klimapolitik in Wirklichkeit Sozialpolitik ist. In: Weidenberg, K. *Auf der Flucht vor humanitären Krisen: zur sozialen Dimension des Klimawandels. Die Linke*. (S. 23-31). Im Bundestag: Berlin
- Niebert, K. (2016). Nachhaltigkeit lernen im Anthropozän. In M. K. W. Schweer (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung in pädagogischen Handlungsfeldern* (S. 77–94). Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Pointon, P. (2014). 'The city snuffs out nature': young people's conceptions of and relationship with nature. *Environmental Education Research*, 20(6), 776-794.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In Krüger, D., & Vogt, H. (Hrsg.). *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. (S. 70-79). Berlin: Springer-Verlag.
- Rockström, J. et al. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*, 14(2).
- Rockström, J., & Klum, M. (2015). *Big world, small planet: abundance within planetary boundaries*. Yale University Press.
- Sander, E., Jelemenská, P. A., & Kattmann, U. (2006). Towards a better understanding of ecology. *Journal of Biological Education*, 40(3), 119-123.
- Schlesinger, W. (2010). Thresholds risks prolonged degradation. *Commentary. Nature Reports*, 3, 112-113.
- Schmitt, R. (2016). *Systematische Metaphernanalyse als Methode der qualitativen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Science and Business Media.
- Steffen, W. et. al. (2015a). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736-747.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015b). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98.
- Thompson, S. C. G., & Barton, M. A. (1994). Ecocentric and anthropocentric attitudes toward the environment. *Journal of environmental Psychology*, 14(2), 149-157.
- Vosniadou, S. (2013). Model based reasoning and the learning of counterintuitive science concepts. *Infancia y Aprendizaje*, 36(1), 5-33.
- Vosniadou, S. (2014). Examining cognitive development from a conceptual change point of view: The framework theory approach. *European Journal of Developmental Psychology*, 11(6), 645-661.
- Yumusak, A., Özbas, S., Sargin, S. A., & Baltaci, F. (2016). An Investigation for the Future Educators' Attitudes towards the Environmental Issues in the Context of Ecocentrism and Anthropocentrism. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(5), 603-612.

Zimmerman, C., & Cuddington, K. (2007). Ambiguous, circular and polysemous: students' definitions of the “balance of nature” metaphor. *Public Understanding of Science*, 16(4), 393-406

Kontakt

Frau Irene Lampert
Universität Zürich
Erziehungswissenschaftliches Institut
Didaktik der Naturwissenschaften und der Nachhaltigkeit
Kantonsschulstrasse 3
8001 Zürich
Email: irene.lampert@uzh.ch

Zitationshinweis:

Lampert, I. & Niebert, K. (2019). Den globalen Wandel verstehen: Vorstellungen zur Stabilität und Instabilität der Erdsysteme. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 23, 39-58. doi: 10.4119/zdb-1739

Veröffentlicht: 11.12.2019

ISSN: 2627-7255



Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International zugänglich (CC BY 4.0 de). URL <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>