

# I Einleitung

„Nachhaltigkeit bedeutet für mich, dass man bewusst im Alltag auf die Umwelt achtet. Man kann etwas Gutes für die Umwelt tun, in dem man mehr Fahrrad fährt oder weniger Plastikprodukte kauft.“ (9.2\OY23I)

„Nachhaltigkeit ist für mich, umweltbewusst. Wenn man nachhaltig lebt, lebt man umweltbewusst.“ (9.3\HJ25A)

Was bedeutet eigentlich *Nachhaltigkeit* bzw. *nachhaltige Entwicklung*? Erste Assoziationen zu dieser Frage zeigen, dass die Begriffe Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung häufig mit dem Bereich der *Umwelt* in Verbindung gebracht werden. Dies wird auch in den beiden zitierten Antworten von zwei Lernenden einer neuen Klasse deutlich, die auf die Frage antworten, was der Begriff Nachhaltigkeit für sie bedeutet. Sie beschreiben in ihrer Aussage ein eindimensionales Verständnis mit dem Fokus auf die Umwelt bzw. umweltbewusstes Handeln. Dies könne beispielsweise durch den Umstieg auf das Fahrrad oder den Verzicht auf Plastik umgesetzt werden.

Auch bei der Eingabe des Begriffs Nachhaltigkeit in die Google-Bildersuche dominieren Abbildungen in grünen Farbtönen und Darstellungen der Erde, von Pflanzen oder Bäumen. Diese Vorstellung von Nachhaltigkeit bezieht sich nur auf eine Dimension von Nachhaltigkeit, die *ökologische* Dimension. Der Begriff ist jedoch weitaus vielfältiger und umfasst ein mehrdimensionales und komplexeres Verständnis.

Nachhaltige Entwicklung im Sinne des Brundtland-Berichts ist die Befriedigung der Bedürfnisse der heutigen Generation, ohne die Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen oder zu gefährden (World Commission on Environment and Development, 1987). Neben den Herausforderungen, die sich im Bereich der *Umwelt* ergeben, stehen wir auch vor *sozialen* und *wirtschaftlichen* Herausforderungen. Die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung sind *mehrdimensional* und berücksichtigen *verschiedene Perspektiven*. Sie umschließen auch die soziale und ökonomische Dimension und beziehen sich sowohl auf einen *langfristigen* Zeitraum als auch *lokale* und *globale* Entwicklungen (Deutsche Bundesregierung, 2018; United Nations, 2015).

Soll eine Maßnahme oder Handlung – zum Beispiel der Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren – unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit bewertet werden, muss diese Bewertung daher eine multiperspektivische Sichtweise einnehmen.

Die Umsetzung des Konzepts Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ist die Aufgabe aller Fächer (KMK & BMZ, 2016; Michelsen & Fischer, 2019). Für die naturwissenschaftlichen Fächer lässt sich diese Forderung mit der Vermittlung von Bewertungskompetenz verbinden (Härtig et al., 2014; Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019d).

Das vorliegende Forschungsprojekt widmet sich daher der übergeordneten Frage, wie eine solche *mehrperspektivische Bewertung* und *Reflexion* von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht initiiert werden kann. Daraus ergibt sich als Ziel die Entwicklung eines *Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit* im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Die Arbeit gliedert sich in insgesamt vier Abschnitte. Nach der Einleitung werden im zweiten Abschnitt zunächst die theoretischen Grundlagen und Konzepte, die das Projekt stützen und leiten, ausführlich erläutert und dargestellt. Das erste Kapitel befasst sich mit der Definition von Nachhaltigkeit sowie der historischen Entstehung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung (s. Kapitel 1.1; 1.2). Vergangene und gegenwärtige Vorhaben zur Umsetzung wie die Agenda 2030 werden beschrieben (s. Kapitel 1.3), gefolgt von der Darstellung der Dimensionen von Nachhaltigkeit und verschiedenen Modellen sowie ihrer Kritik (s. Kapitel 1.4). Im zweiten Kapitel wird die Entwicklung und Definition des Konzepts BNE dargestellt (vgl. Kapitel 2.1; 2.2). Es werden bildungspolitische Umsetzungen sowie die Entwicklung von Kompetenzkonzepten für BNE erläutert (vgl. Kapitel 2.3; 2.4), inklusive eines Blicks auf den Stand der Implementierung von BNE (vgl. Kap. 2.5). Des Weiteren wird in Kapitel 2.6 der Zusammenhang zwischen BNE und den naturwissenschaftlichen Fächern herausgearbeitet, wobei sowohl inhaltliche als auch kompetenzorientierte Bezüge hergestellt werden. Es wird dargelegt, dass die Vermittlung von Bewertungskompetenz und die Förderung von BNE eine sinnvolle Verknüpfung darstellen (s. Kapitel 2.6.5).

Das dritte Kapitel widmet sich der Bewertungskompetenz und fasst die relevanten theoretischen Grundlagen zusammen. Anhand einer Literaturrecherche erfolgt die Darstellung bisheriger fachdidaktischer Beiträge der Naturwissenschaften zur Vermittlung von Bewertungskompetenz im Kontext von Nachhaltigkeit (s. Kapitel 3.4; 3.5).

Im dritten Abschnitt der Arbeit wird in Kapitel 4 mit dem *Design-Based Research* der zugrunde liegende forschungsmethodische Ansatz des Projekts erläutert. Zunächst wird der Forschungsansatz allgemein beschrieben (s. Kapitel 4.1), gefolgt von einer Erläuterung der Merkmale (s. Kapitel 4.2) und der Struktur (s. Kapitel 4.3). Das Projekt orientiert sich an den drei Phasen *Framing*, *Design-Experiment* sowie dem abschließenden *Re-Framing*, die in Kapitel 4.4 näher erläutert werden. Der Abschnitt schließt mit der Darstellung der Herausforderungen des methodischen Ansatzes (s. Kapitel 4.5).

Die Durchführung des Projekts erfolgt im vierten Abschnitt und gliedert sich in die Phasen *Framing* (s. Kapitel 5), *Design-Experiment* (s. Kapitel 6) und *Re-Framing* (s. Kapitel 7). Das *Design-Experiment* besteht aus insgesamt vier Mesozyklen und stellt die Entwicklung, Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzepts „nachhaltig:bewerten“ dar. Im ersten Mesozyklus wird das Unterrichtskonzept entwickelt (s. Kapitel 6.3). Im zweiten

Mesozyklus werden theoretische Gestaltungsgrundlagen für die Materialentwicklung beschrieben (s. Kapitel 6.4.3) und eine kriteriengeleitete Auswahl des Beispielkontextes *Elektromobilität* vorgenommen (s. Kapitel 6.4.1; 6.4.2). Es folgt eine umfangreiche Materialentwicklung zu insgesamt acht Aspekten von Elektromobilität. Im dritten Mesozyklus (s. Kapitel 6.5) wird analysiert, inwiefern die Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit die Ziele des Unterrichtskonzepts erreicht. Es werden Lernergebnissen beschrieben und inhaltsanalytisch ausgewertet. Der vierte Mesozyklus beinhaltet die Durchführung eines Lehrkräfteworkshops zur Vorstellung des Unterrichtskonzepts. Dadurch wird eine erste Transfermöglichkeit beschrieben und eine Rückmeldung zu den Materialien von Lehrkräften aus der Praxis generiert (s. Kapitel 6.6).

Die letzte Phase des Projekts stellt das *Re-Framing* mit der Zusammenfassung der Ergebnisse aller Mesozyklen und einem Rückbezug zur Forschungsfrage dar (s. Kapitel 7). Es wird der *praktische Output* des Projektes dargelegt (s. Kapitel 7.1) und mögliche Erklärungsansätze als *bereichsspezifische Theorieansätze* (s. Kapitel 7.2) diskutiert.

Das Ende dieser Arbeit bildet der letzte Abschnitt mit dem Fazit und einer Reflexion, in der mögliche zukünftige Forschungsinteressen diskutiert werden (Kapitel 8).



# II Theoretische Rahmung

## 1 Nachhaltigkeit

Die Begriffe *Nachhaltigkeit* und *nachhaltige Entwicklung* werden oft synonym verwendet, können aber in ihrer Bedeutung wie folgt unterschieden werden:

„Nachhaltigkeit verweist auf einen Zustand, Statik und Beständigkeit; nachhaltige Entwicklung impliziert Bewegung, Dynamik, das Prozesshafte sowie das Werden und Entstehen.“ (Pufé, 2017, S. 43)

Demnach ist nachhaltige Entwicklung der Prozess und Nachhaltigkeit der angestrebte Zustand durch den Prozess (Hauff, 2021). Aufgrund des stetigen Wandels und der ständigen Veränderung der bestehenden Verhältnisse bleibt das endgültige Erreichen des Zustandes ein permanentes Ziel.

### 1.1 Nachhaltigkeitsbegriff

Der Begriff Nachhaltigkeit hat seinen Ursprung zu Beginn des 18. Jahrhunderts. Er entstammt ursprünglich aus dem Bereich der Forstwirtschaft und geht auf die Überlegungen von Hans Carl von Carlowitz zurück, einer vorherrschenden Holzknappheit und der daraus resultierenden Krise in Sachsen entgegenzuwirken (Grunwald & Kopfmüller, 2022). Er schlug vereinfacht folgenden Lösungsansatz vor: Für jeden gefällten Baum werden drei neue Bäume gepflanzt (Wuhle, 2020). Es sollte in einem Jahr nur so viel Holz gefällt werden, wie auch nachwachsen konnte (Grunwald & Kopfmüller, 2022). In seinen Überlegungen inbegriffen war damit statt einer kurzfristigen eine langfristige Lösung, was im 18. Jahrhundert als „revolutionärer Ansatz“ galt (Wuhle, 2020, S. 6).

Sein Lösungsvorschlag ging aus einer primär ökonomischen Krise hervor, gleichzeitig implizierte er aber bereits in seinem „ressourcen-ökonomischen Prinzip“ (Grunwald & Kopfmüller, 2022, S. 22), ob bewusst oder nicht, auch soziale und ökologische Aspekte: Die Schaffung beständiger Arbeitsplätze, die zugleich einen Wohlstand der Bevölkerung sichern konnte sowie die Erhaltung natürlicher Lebensräume und optimale Voraussetzungen für eine Neubepflanzung (Wuhle, 2020, S. 6). Es wurde erkannt, dass „das ökonomische Ziel der maximalen dauerhaften Nutzung des Waldes mit den ökologischen Beziehungen des Nachwachsens des Waldes zusammenzuführen“ ist (Hauff, 2021, S. 3) und eine *ökologische* Nachhaltigkeit damit in einem vorrangig *ökonomischen* Ziel inkludiert war.

Eine Änderung seiner Bedeutung und eine Ausweitung des Begriffs der Nachhaltigkeit begann ab 1972 durch die Veröffentlichung des Berichts „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome (Pufé, 2017), indem erstmals über die Grenzen bzw. die Endlichkeit von natürlich vorkommenden Ressourcen und den verheerenden Folgen bei deren Überschreitung berichtet wurde (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Pufé, 2017). In Erweiterung zu von Carlowitz wandelte sich der Fokus der Waldnutzung auf das gesamte Ökosystem (Friedrich, 2016). Im selben Jahr fand 1972 in Stockholm die erste große Umweltkonferenz der vereinten Nationen (*United Nations Conference of the Environment*) statt. Im Rahmen der Konferenz wurde das Umweltprogramm der vereinten Nationen (*UNEP*) gegründet und es folgte in vielen Staaten die Einrichtung von Umweltministerien (Zimmermann, 2016).

Die Bedeutung des Nachhaltigkeitsbegriffs konzentrierte sich zu dieser Zeit überwiegend auf die ökologischen Herausforderungen und bezog sich vor allem „auf den nachhaltigen Ertrag der natürlichen Ressourcen“ (Zimmermann, 2016, S. 5) und damit die „Erhaltung der Funktionalität unseres Ökosystems“, ohne die eine dauerhafte ökonomische Entwicklung gar nicht möglich sei (Hauff, 2021, S. 7). Die Beachtung der sozialen Dimension und ihren Aspekten blieb bis dahin noch weitestgehend außen vor.

## 1.2 Entwicklung des Leitbilds für nachhaltige Entwicklung

Zentral für die Entwicklung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung ist der 1987 veröffentlichte Bericht der *World Commission on Environment and Development (WCED)*, der häufig nach der Kommissions-Vorsitzenden Gro Harlem Brundtland benannt wird (Pufé, 2017). Die WCED sollte angesichts der zunehmenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Entwicklung herausarbeiten. Erstmals wurde in diesem Zusammenhang das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung „einer breiten Öffentlichkeit nahegebracht“ (Hauff, 2021, S. 8).

Aus dem sogenannten Brundtland-Bericht mit dem Titel „Our Common Future“ (World Commission on Environment and Development, 1987) ging übersetzt folgende Definition hervor:

„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“ (übersetzt aus World Commission on Environment and Development, 1987, S. 37)

Diese Definition gilt bis heute als bekannteste und anerkannteste Definition von nachhaltiger Entwicklung (Hauff, 2021; Pufé, 2017).

Die Veröffentlichung des Brundtland-Berichts stellte erstmals im Rahmen des Nachhaltigkeitsverständnisses die Betrachtung von drei Dimensionen von Nachhaltigkeit ins

Zentrum: die *ökologische*, die *soziale* und die *ökonomische* Dimension (Hauff, 2021) (s. Kapitel 1.4).

Es wurde erkannt und im Bericht hervorgehoben, dass die globalen Umweltprobleme vor allem durch das Konsumverhalten des globalen Nordens und die immer größer werdende Armut im globalen Süden verursacht und miteinander verknüpft sind (Pufé, 2017, S. 43). Nachhaltigkeit muss demnach ein Zusammenbringen von Umwelt und Entwicklung anstreben.

Aus dem Bericht sind folgende zentrale Punkte für die Definition des Leitbildes zu akzentuieren: Die zwingende Verbindung von Umwelt- und Entwicklungsaspekten sowie die Einnahme einer „globalen Perspektive“ (Hauff, 2021, S. 10). Nachhaltige Entwicklung muss global ausgerichtet sein. Sie beginnt jedoch auf nationaler und lokaler Ebene.

Die Forderung einer inter- und intragenerationellen Gerechtigkeit stellt eine der wichtigsten Aussagen dar: Es muss sowohl die Berücksichtigung der Bedürfnisse unter den jetzt lebenden Generationen, als auch unter den zukünftigen Generationen (Hauff, 2021; Zimmermann, 2016) erfolgen. Die intragenerationelle Gerechtigkeit lenkt den Blick dabei insbesondere auch auf die Ungleichheit zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (Hauff, 2021). Die Definition integriert in das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung damit einen „anthropozentrischen Ansatz“ (Hauff, 2021, S. 11).

### **1.3 Umsetzung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung**

Die politische Verpflichtung zum Leitbild für nachhaltige Entwicklung und dessen konkrete Umsetzung folgte 1992 auf dem berühmten Rio-Gipfel, die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, die als Antwort auf den Brundtland-Bericht ausgerichtet wurde (Hauff, 2021). Aus der Konferenz ging als eines der wichtigsten Dokumente unter anderem die Agenda 21 hervor: Das Aktionsprogramm legte politische und einheitliche Handlungsvorgaben sowie Ziele und Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes unter besonderer Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungsländern fest (United Nations, 1992). Dabei umfasst die Agenda 21 die Herausforderungen der sozialen, der ökologischen und der ökonomischen Dimension und strebt eine Verknüpfung dieser drei Nachhaltigkeitsdimensionen an (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Hauff, 2021; Zimmermann, 2016). Aspekte der sozialen und ökonomischen Dimension innerhalb der Agenda 21 sind unter anderem die Bekämpfung von Armut, die Bevölkerungsdynamik, der Schutz der Gesundheit und eine nachhaltige Siedlungsentwicklung (United Nations, 1992). Inhalt der ökologischen Dimension ist vor allem der Schutz der Erdatmosphäre, der Erhalt der Biodiversität und Maßnahmen gegen die Entwaldung sowie eine schonende Abfallentsorgung (Pufé, 2017; United Nations, 1992).

Neben der Verknüpfung der drei Dimensionen betont die Agenda 21 als Grundprinzip für eine nachhaltige Entwicklung in Anlehnung an die Definition des Brundtland-Berichts die Generationenverantwortlichkeit (United Nations, 1992). Herausgehoben wird weiter das Partizipationsprinzip, dass die Einbeziehung verschiedener Gruppen und Akteure betont sowie das Zusammenspiel von Industrie- und Entwicklungsländern, denen eine „gemeinsame, aber unterschiedliche Verantwortung“ zukommt (KMK & BMZ, 2016, S. 28).

Die unterzeichnenden Staaten verpflichteten sich zur Einhaltung und Umsetzung des Leitbildes auf nationaler Ebene, indem auf Grundlage der Agenda 21, nationale Strategien bis 2002 entwickelt werden sollten (United Nations, 1992). Innerhalb des gesetzten Zeitrahmens veröffentlichte Deutschland seine erste Nachhaltigkeitsstrategie 2002 (Deutsche Bundesregierung, 2002), die seitdem fortlaufend erneuert und angepasst wird (Deutsche Bundesregierung, 2021). Mit ihr begann der Einzug von Nachhaltigkeit in die deutsche Politik.

An den Rio-Gipfel schlossen sich weitere wichtige und wegbereitende internationale Konferenzen und Gipfel-Treffen an. Als Meilenstein ist hier die Festlegung der acht Millenniums-Entwicklungsziele (*Millennium Development Goals, MDGs*) der Vereinten Nationen auf dem Millenniumsgipfel im Jahr 2000 zu nennen. Diese sollten bis zum Jahr 2015 erreicht werden und stellten damit konkrete und messbare Ziele, innerhalb eines definierten Zeitraumes, dar (Hauff, 2021).

Die acht Millenniums-Entwicklungsziele lauten (United Nations, 2000 zitiert nach Pufé, 2017, S. 54 f.):

1. Bekämpfung von extremer Armut und Hunger
2. Primärschulbildung für alle
3. Gleichstellung der Geschlechter und Stärkung der Rolle der Frau
4. Senkung der Kindersterblichkeit
5. Verbesserung der Gesundheitsversorgung von Müttern
6. Bekämpfung von HIV/Aids, Malaria und andere übertragbare Krankheiten
7. Ökologische Nachhaltigkeit
8. Aufbau einer weltweiten Entwicklungspartnerschaft

Das Hauptanliegen der Millenniums-Erklärung war vor allem die Bekämpfung von Armut und legte insgesamt einen Schwerpunkt auf Veränderungen innerhalb der Entwicklungsländer. Für diese Schwerpunktsetzung wurden die MDGs kritisiert, da die Rolle der Industrieländer wenig Beachtung fand (Pufé, 2017). Weiterer Kritikpunkt war die zu geringe Aufmerksamkeit auf die ökologische Dimension und deren Verknüpfung mit der Entwicklungspolitik, die seit dem Brundtland-Bericht als untrennbar angesehen wurde (Hauff, 2021). Zwar wurde der Schutz der Umwelt in der Formulierung eines Millenniums-



Ziels verzeichnet, jedoch ohne Konkretisierung oder der Nennung von Indikatoren (Scholz, 2017).

Abgelöst wurden die Millenniums-Entwicklungsziele 2015 auf dem UN-Nachhaltigkeitsgipfel durch die Agenda 2030 und der Formulierung der 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (s. Abbildung 1), den SDGs (*Sustainable Development Goals*) (United Nations, 2015).

### 1.3.1 Agenda 2030

Die Agenda 2030 richtet sich - im Gegensatz zu den Millenniums-Entwicklungszielen - an alle Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländer gleichermaßen (United Nations, 2015).

Sie verbindet die beiden beschriebenen Meilensteine in der Entwicklung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung: den Rio-Gipfel von 1992 und die Millenniums-Erklärung (s. Kapitel 1.3).

Als zentrales Element formuliert die Agenda 2030 insgesamt 17 Nachhaltigkeitsentwicklungsziele, deren Erreichung bis zum Jahr 2030 angestrebt wird (s. Abbildung 1).



Abbildung 1: Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Abbildungsquelle: <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit/2030-agenda>).

Wie bereits die Agenda 21, umfasst sie die ökologische, soziale und ökonomische Dimension von Nachhaltigkeit und hebt deren Bedeutung für das Erreichen von nachhaltiger Entwicklung hervor. Sie betont ein weiteres Mal die Wichtigkeit, sowohl einer inter- als auch einer intragenerationellen Gerechtigkeit (Michelsen & Overwien, 2020). Dabei wird im Gegensatz zur Millenniums-Erklärung, vor allem noch einmal die Verbundenheit der drei Nachhaltigkeitsdimensionen untereinander unterstrichen (United Nations, 2015).

Für die 17 SDGs wird in der Agenda 2030 formuliert:

„Sie sind integriert und unteilbar und tragen in ausgewogener Weise den drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung Rechnung: der wirtschaftlichen, der sozialen und der ökologischen Dimension.“ (United Nations, 2015, S. 1)

Sie gliedern sich weiter in insgesamt 169 konkretisierte Unterziele. Durch die detaillierte Ausformulierung soll die Erreichung der einzelnen Ziele beobachtbar und nachverfolgbar sein. Weiter werden sowohl Kontexte als auch Maßnahmen innerhalb der Unterziele spezifiziert und herausgearbeitet (Grunwald & Kopfmüller, 2022).

Um eine konkrete Umsetzung dieser Ziele auch erreichen zu können, muss auf der lokalen bzw. regionalen Ebene begonnen werden, damit letztendlich ein globaler Erfolg möglich werden kann (United Nations, 2015).

Aus diesem Grund wurde zum Beispiel 2016 die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie von 2002 in Anlehnung an die 17 SDGs neu ausgerichtet und orientiert sich seitdem an der Agenda 2030 (Deutsche Bundesregierung, 2016). Auch auf Länder- und Kommunenebene ist eine Integration der Nachhaltigkeitsziele in der Formulierung ihrer politischen Vorhaben erkennbar geworden und angekommen (Grunwald & Kopfmüller, 2022).

In der Neuauflage der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird zur Berücksichtigung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung konkret formuliert:

„Dafür bedarf es einer wirtschaftlich leistungsfähigen, sozial ausgewogenen und ökologisch verträglichen Entwicklung, wobei die planetaren Grenzen unserer Erde zusammen mit der Orientierung an einem Leben in Würde für alle (...) die absolute äußere Beschränkung vorgeben“  
(Deutsche Bundesregierung, 2016, S. 24)

Neben der Verknüpfung aller drei Dimensionen von Nachhaltigkeit bekennt sich die deutsche Bundesregierung explizit auch zur Einhaltung der planetaren Leitplanken (Michelsen, 2017, S. 5).

### **1.3.2 Planetare Leitplanken**

Das Konzept der planetaren Leitplanken basiert auf der Arbeit von Johan Rockström und seiner Forschungsgruppe des Stockholm Resilience Centre und definiert die Belastungsgrenzen unserer Erde (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Es wurden insgesamt neun planetare Grenzen identifiziert: Klimawandel, Ozonabbau, Aerosolgehalt der Atmosphäre, Versauerung der Ozeane, Biogeochemische Stoffkreisläufe (Stickstoff- und Phosphoreinträge), Süßwassernutzung, Landnutzung und Integrität der Biosphäre (Aussterberate und funktionale Biodiversität) sowie der Eingang neuer chemischer Substanzen in die Umwelt (Steffen et al., 2015).

Anhand der planetaren Belastungsgrenzen wird deutlich, wie fortgeschritten die Belastungen und Schäden unseres Ökosystems bereits sind. Waren es bei der Veröffentlichung der Analyse von 2015 noch vier Bereiche die überschritten wurden (Steffen et al., 2015), zeigt die aktuelle Analyse einen Übertritt der Linie in sechs Bereichen: Klimawandel, Nutzung von Süßwasser (*green water*), Landnutzung, Integrität der Biosphäre, biogeochemische Stoffkreisläufe und der Eintrag von neuen Substanzen wie Mikroplastik (s. Abbildung 2). Die Überschreitung des letztgenannten Bereichs wurde erst 2022 bekannt (Persson et al., 2022).

In Abbildung 2 ist die aktuellste Analyse der planetaren Belastungsgrenzen aus dem Jahr 2023 von Richardson et al. (2023) dargestellt.

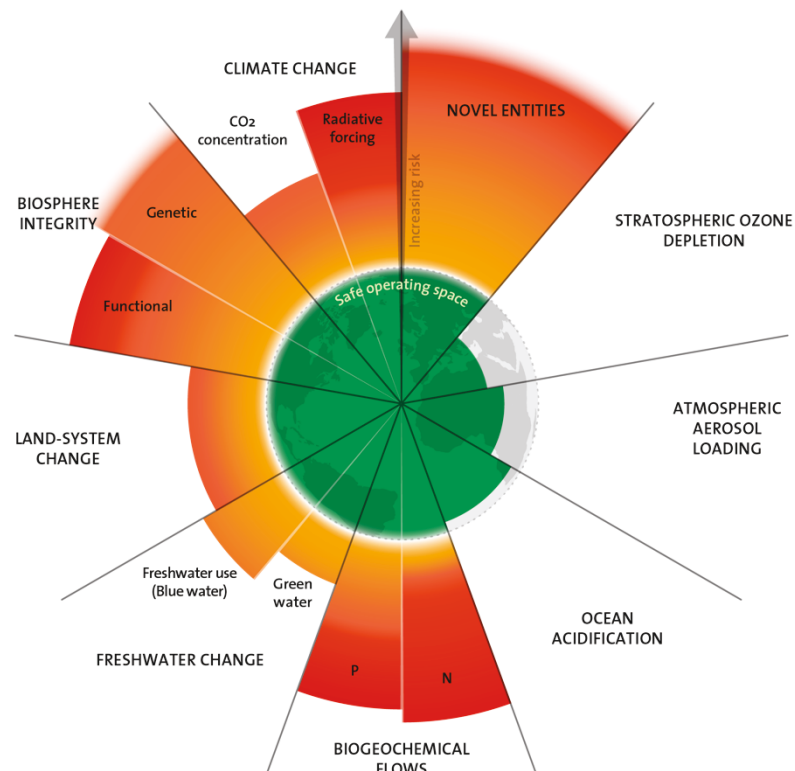


Abbildung 2: Analyse der planetaren Belastungsgrenzen von 2022 (Abbildungsquelle: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>; Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, basierend auf der Analyse von Richardson et al. (2023)).

Der grüne Bereich innerhalb der Linie gilt dabei als sicherer Handlungsspielraum indem der Mensch sich bewegt, die Überschreitung der Linie mit dem Übergang zum roten Bereich bedeutet „hochgradig kritische Veränderungen, die auch plötzliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt nach sich ziehen können“ (Müller & Niebert, 2017, S. 61) und dabei irreversibel sein können.