



Planetarer Gesundheitscheck

Eine wissenschaftliche Einschätzung des Zustands
unseres Planeten

ZUSAMMENFASSUNG

20
24



Planetary Boundaries
SCIENCE



2024

Planetary Boundaries
SCIENCE

Danksagungen

Autor*innen: Levke Caesar*, Boris Sakschewski*, Lauren Seaby Andersen, Tim Beringer, Johanna Braun, Donovan Dennis, Dieter Gerten, Adrian Heilemann, Jonas Kaiser, Niklas H. Kitzmann, Sina Loriani, Wolfgang Lucht, Josef Ludescher, Maria Martin, Sabine Mathesius, Anja Paolucci, Sofie te Wierik, Johan Rockström (*gleichberechtigt Mitwirkende an dieser Arbeit und als Co-Erstautor*innen ausgewiesen)

Grafiken und Abbildungen: Globaia

Vielen Dank an die PIK-Kolleg*innen, die ihre Zeit für die Anfertigung dieser Übersetzung zur Verfügung gestellt haben: Clara Nicolai, Reinhild Costa, Levke Caesar, Sabine Friedel

Editiert durch: Planetary Boundaries Science (PBScience)



Planetary Boundaries
SCIENCE

Planetary Boundaries Science (PBScience) ist eine internationale Forschungsgemeinschaft, die Ende 2023 gegründet wurde. PBScience wird jährliche Planetare Gesundheitschecks durchführen und gleichzeitig die zugrundeliegende Forschung weiterentwickeln sowie eine zeitgemäße und effiziente Wissenschaftskommunikation sicherstellen. Die Bestandsaufnahme der planetaren Belastungsgrenzen soll verbessert werden, indem **a)** modernste Datenanalysetechniken angewendet, **b)** die neuesten verfügbaren Datensätze genutzt, **c)** die Modellierung des Erdsystems verbessert und **d)** moderne, umfassende Kommunikationsmittel eingesetzt werden, um ein möglichst breites Publikum zu erreichen. In enger Zusammenarbeit mit den **Planetary Guardians** möchte **PBScience** weltweit das öffentliche Bewusstsein schärfen und Maßnahmen zur Erhaltung der planetaren Stabilität vorantreiben.

Kontakt: PBScience@pik-potsdam.de



POTSDAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH



© **Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung** (PIK); Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft, Telegraphenberg A 31, 14473 Potsdam, Deutschland; 2024.

Planetare Gesundheit – Zusammenfassung

Dieser erste Jahresbericht stellt einen entscheidenden Schritt zur systematischen Beobachtung und Sicherung der Stabilität, der Resilienz und der lebenserhaltenden Funktionen der Erde dar – Funktionen, die wir in ihrer Gesamtheit als „planetare Gesundheit“ definieren. Unsere vor Kurzem gegründete und schnell wachsende internationale Forschungsgemeinschaft, genannt Planetary Boundaries Science (PBScience), wird das Rahmenwerk der planetaren Belastungsgrenzen (PBs) durch die Integration neuer Daten und Methoden voranbringen und zugleich innovative Wissenschaftskommunikation fördern.

Das PB-Rahmenwerk analysiert und überwacht die neun PB-Prozesse und -Systeme, die nachgewiesenermaßen die Gesundheit unseres Planeten regulieren. Jeder dieser Prozesse, wie etwa der Klimawandel oder die Ozeanversauerung, wird derzeit durch ein oder zwei sogenannte Kontrollvariablen quantifiziert. Der „Planetare Gesundheitscheck (PGC) 2024“ zeigt, dass sechs der neun PB-Prozesse ihre sicheren Grenzwerte überschritten haben. Für diese sechs betroffenen PB-Prozesse zeichnen sich zudem negative Entwicklungen in den zugehörigen Kontrollvariablen ab, was auf eine weitere Verschärfung der Situation in naher Zukunft hinweist (Abb. 1).

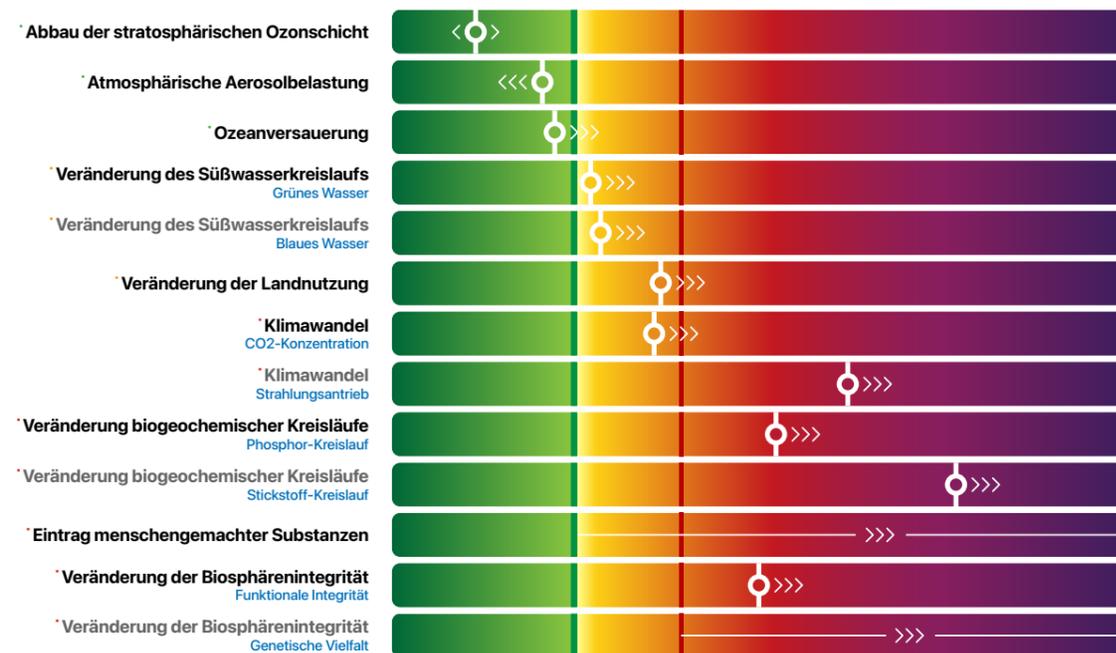


ABBILDUNG 1 Planetare Gesundheit auf einen Blick. So wie ein Bluttest Einblicke in die Gesundheit des menschlichen Körpers ermöglicht und problematische Bereiche aufzeigt, beschreibt der Planetare Gesundheitscheck die 13 Kontrollvariablen der neun PB-Prozesse. Damit werden die Stabilität, die Resilienz und die lebenswichtigen Funktionen der Erde – also die allgemeine Gesundheit unseres Planeten – dokumentiert. Die Untersuchung für 2024 zeigt, dass bereits sechs der neun PBs überschritten worden sind: Klimawandel, Veränderung der Biosphärenintegrität, Veränderung der Landnutzung, Veränderung des Süßwasserkreislaufs, Veränderung der biogeochemischen Kreisläufe und der Eintrag menschengemachter Substanzen. Sie alle zeigen negative Trends, was auf eine weitere Verschlechterung in naher Zukunft hindeutet. Drei PB-Prozesse verbleiben bisher im sicheren Handlungsbereich: Ozeanversauerung (negative Entwicklung und nahe an der Belastungsgrenze), atmosphärische Aerosolbelastung (global positive Entwicklung) und der Abbau der stratosphärischen Ozonschicht (neutrale Entwicklung).

Die sechs PB-Prozesse, die sichere PB-Grenzwerte überschritten haben, sind:



Klimawandel (6.1): Die atmosphärischen CO₂-Werte haben den höchsten Stand seit 15 Millionen Jahren erreicht. Der globale Strahlungsantrieb nimmt weiterhin zu, begleitet von einem anhaltenden Erwärmungstrend, der sich seit dem späten 20. Jahrhundert beschleunigt hat. Die globalen Durchschnittstemperaturen sind mittlerweile so hoch wie noch nie seit der Entstehung menschlicher Zivilisationen auf der Erde.



Veränderung der Biosphärenintegrität (6.2): Der weltweite Verlust an genetischer Vielfalt und der Verlust der funktionalen Integrität (gemessen anhand der den Ökosystemen zur Verfügung stehenden Energie) überschreiten jeweils ihre sicheren Grenzwerte und beschleunigen sich insbesondere in Regionen mit intensiver Landnutzung. Der enorme Rückgang der Biosphärenintegrität lässt befürchten, dass die Biosphäre der Erde ihre Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit sowie die Fähigkeit verliert, weitere Belastungen (wie sie etwa durch die Überschreitung anderer PBs entstehen) zu mildern.



Veränderung der Landnutzung (6.3): Durch Landnutzung und zunehmend auch durch den Klimawandel haben sich die Waldflächen in allen wichtigen Waldregionen global und regional in den letzten Jahrzehnten stetig verkleinert. Die meisten Regionen befinden sich bereits in der Hochrisikozone, weit außerhalb sicherer Grenzen, während einige Gebiete erst vor Kurzem ihre sicheren Werte überschritten haben (z. B. die gemäßigten und tropischen Wälder Amerikas).



Veränderung des Süßwasserkreislaufs (6.4): In vielen Regionen haben die Abweichungen vom langjährigen ortsabhängigen Mittel sowohl bei der Bodenfeuchte als auch bei der Abflussmenge seit dem späten 19. Jahrhundert deutlich zugenommen und ihre jeweiligen PBs wurden bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts überschritten. Die zunehmende Variabilität und Instabilität in den globalen Systemen von Süßwasser und terrestrischem Wasser ist sowohl für das Wassermanagement als auch für die Intaktheit von Umweltsystemen bedenklich.



Veränderung biogeochemischer Kreisläufe (6.5): Der Einsatz von Phosphor und Stickstoff in der Landwirtschaft hat die sicheren Grenzwerte überschritten und sorgt für erhebliche ökologische Veränderungen. Diese Grenzüberschreitungen führen zu schwerwiegenden Umweltfolgen wie Wasserverschmutzung, Eutrophierung, schädlichen Algenblüten sowie zu „Todeszonen“ in Süßwasser- und Meeresökosystemen. Das Problem ist in Industrieländern schon lange bekannt und wird auch in Entwicklungsregionen zunehmend zu einer Herausforderung.



Eintrag menschengemachter Substanzen (6.9): Der weltweite Eintrag menschengemachter Substanzen – wie synthetische Chemikalien, Kunststoffe und genetisch veränderte Organismen – ist enorm, wobei ein bedeutender Teil dieser Stoffe bisher nicht auf Umweltauswirkungen getestet wurde. Dies deutet darauf hin, dass diese Belastungsgrenze wahrscheinlich überschritten ist, obwohl keine genauen Zahlen vorliegen. Neue Substanzen können wichtige Erdsystemprozesse stören (z. B. haben FCKWs die Ozonschicht erheblich ausgedünnt), Ökosysteme schädigen (z.B. verursachen Pestizide signifikante Rückgänge bei Insekten- und Bestäuberpopulationen) und zu langfristigen, möglicherweise irreversiblen Veränderungen in der Umwelt führen. Sie tragen außerdem zur Kontaminierung von Böden und Gewässern und zur Veränderung natürlicher Lebensräume bei.

Folgende drei PB-Prozesse befinden sich noch immer innerhalb des sicheren Handlungsreichs, wobei die PB der Ozeanversauerung bereits kurz vor der Überschreitung steht:



Ozeanversauerung (6.6): Die Versauerung der Ozeane nähert sich immer mehr der planetaren Belastungsgrenze. Insbesondere in polaren oder polarnahen Regionen wie der Arktis und dem Südlichen Ozean ist infolge der Ozeanversauerung ein signifikanter Rückgang der Aragonitsättigung an der Meeresoberfläche zu verzeichnen. Diese Gebiete sind entscheidend für die Ozean-Kohlenstoffpumpe und für globale Nährstoffkreisläufe, die die marine Produktivität, die Artenvielfalt und die globalen Fischbestände unterstützen. Die zunehmende Versauerung stellt außerdem eine wachsende Bedrohung für marine Ökosysteme dar, insbesondere für solche, die auf Kalziumkarbonat zur Schalenbildung angewiesen sind.



Atmosphärische Aerosolbelastung (6.7): Der Unterschied in der Aerosolbelastung (auch: Aerosol-optische Dichte) zwischen den Hemisphären nimmt ab, d.h. die Kontrollvariable bewegt sich in Richtung sichererer Werte, obwohl die regionale Aerosolbelastung in einigen Regionen deutlich zugenommen hat. Aerosole beeinflussen die Energiebilanz der Erde, indem sie Sonnenlicht in den Weltraum reflektieren und die Wolkenbildung beeinflussen. Dies wirkt sich sowohl global wie auch regional auf das Klima aus, da Wolken die Temperaturregulation, Niederschlagsmuster und die Verteilung der Sonnenenergie beeinflussen. Die Regulierung der Aerosolbelastung ist entscheidend, um die Stabilität des Klimasystems zu erhalten und großräumige Änderungen in Wetterbedingungen zu verhindern, die Ökosysteme belasten können.



Abbau der stratosphärischen Ozonschicht (6.8): Die Regeneration der Ozonschicht stagniert zurzeit, begleitet von anhaltenden Herausforderungen bei der Bekämpfung des Ozonlochs über der Antarktis. Die stratosphärische Ozonschicht spielt eine wichtige Rolle beim Schutz der Erde vor übermäßiger ultravioletter (UV) Strahlung. Dieser Schutz ist wesentlich, um die Integrität der biologischen Systeme der Erde zu erhalten, da UV-Strahlung Phytoplankton schädigen, marine Ökosysteme stören und das Wachstum terrestrischer Pflanzen beeinträchtigen kann. All dies sind Elemente, die für das globale Nahrungsnetz und den Kohlenstoffkreislauf grundlegend sind. Die Stabilisierung und Wiederherstellung der Ozonschicht ist entscheidend für den Erhalt dieser miteinander verknüpften Erdsystemprozesse.

Eine neue Ära

Die Menschheit hat über 10.000 Jahre in einer Phase klimatischer Stabilität innerhalb eines widerstandsfähigen Erdsystems gelebt. Diese Stabilität ermöglichte die Entwicklung fortschrittlicher Technologien und Kulturen. Wie der Planetare Gesundheitscheck 2024 jedoch zeigt, stehen wir nun an der Schwelle zu einer gefährlichen neuen Ära. Diese ist durch zunehmende Anzeichen für die Überschreitung planetarer Belastungsgrenzen geprägt, wie häufigere Extremwetterereignisse, Waldbrände, geringere Pflanzenproduktivität und Wasserknappheit. Diese Herausforderungen werden durch eine weiterhin wachsende Weltbevölkerung verschärft, die sich noch nie dagewesenen Problemen stellen muss. Gleichzeitig verliert das Erdsystem zunehmend an Resilienz. Während wir uns kritischen Kipppunkten nähern – und diese möglicherweise überschreiten – führen diese langsamen Veränderungen zwar nicht unbedingt zu abrupten Umschwüngen, können aber zu unumkehrbaren Trends wie einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg und zu sich selbst verstärkenden Prozessen führen, die uns weiter von den stabilen, dem Holozän ähnlichen Bedingungen entfernen, die für das menschliche Leben entscheidend sind.

Die Wechselwirkungen zwischen den PB-Prozessen bedeutet, dass die Bewältigung eines Problems, wie etwa die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5°C, die kollektive Auseinandersetzung mit allen planetaren Belastungsgrenzen erfordert. Dieser ganzheitliche Ansatz mag zwar herausfordernd erscheinen, bietet jedoch die Möglichkeit, das was wie eine Belastung erscheint, in eine Chance für nachhaltigen Fortschritt zu verwandeln. Eine Umkehr der zahlreichen Treiber, die derzeit Teile des Erdsystems in Richtung ihrer Kipppunkte drängen, kann synergetische Effekte für Naturschutz und Resilienz bewirken. Ein sofortiges und koordiniertes globales Handeln von Regierungen, Unternehmen und Zivilgesellschaft ist entscheidend, um in den sicheren Handlungsbereich für alle PBs zurückzukehren. Nur so kann eine lebenswerte Zukunft für Mensch und Planet gesichert werden.

Ein Weg nach vorne

PBScience plant, in naher Zukunft gemeinsam mit einem wachsenden Partnernetzwerk die Planetary Boundaries Initiative (PBI) zu etablieren. Ziel der PBI ist es, Entscheidungshilfen zu liefern, damit die globale Entwicklung zurück in den sicheren Handlungsbereich gelenkt werden kann. Das PB-Rahmenwerk dient als wissenschaftliches Bilanzierungssystem, das Politik leitet, Innovationen anregt und transformative Veränderungen vorantreibt.

Um dies zu erreichen, wird der Planetare Gesundheitscheck eine zentrale Rolle spielen. Mit jährlichen Berichten soll über die wissenschaftlichen und menschlichen Fortschritte bei der Erreichung sicherer Grenzwerte informiert werden. Dies umfasst die Einführung neuer Kontrollvariablen, die sich auf die Schnittstellen zwischen Mensch und Erdsystem konzentrieren. Außerdem sollen KI-gestützte Erdsystem-Simulationsmodelle weiterentwickelt und ein Echtzeit-Dashboard mit Daten aufgebaut werden, um Leitlinien für Investitionen zu bieten und Wege zurück in den sicheren Handlungsbereich innerhalb der planetaren Belastungsgrenzen aufzuzeigen. Mit einem Kommunikationsteam, das diese Erkenntnisse einem breiteren Publikum zugänglich macht, stellt die PBI außerdem das Bewusstsein der breiten Öffentlichkeit und das wissenschaftliche Verständnis für die Thematik der planetaren Belastungsgrenzen in den Vordergrund.



GLOSSAR

Begriff auf Englisch	Deutsche Übersetzung	Definition / Erklärung
Planetary Boundary / Boundaries	Planetare Belastungsgrenzen	Die äußeren Grenzen des Holozän-ähnlichen Sicheren Handlungsbereichs, der die Grenzen definiert, innerhalb derer die Menschheit sicher operieren kann, ohne die Umwelt wesentlich zu beeinträchtigen.
Safe Operating Space	Sicherer Handlungsbereich	Ein Zustand des Erdsystems, der es der Menschheit ermöglicht, sich zu entwickeln und für kommende Generationen zu gedeihen, und der ähnliche Bedingungen wie im Holozän aufweist.
Zone of Increasing Risk	Bereich zunehmenden Risikos	Die Überschreitung von Grenzen drängt unseren Planeten in einen "Bereich zunehmenden Risikos", in dem die Wahrscheinlichkeit von Schäden mit fortschreitender Grenzüberschreitung zunimmt.
High-Risk Zone	Hochrisikobereich	Die Zone, in der die Bedingungen erheblich von sicheren Werten abweichen, so dass schwerwiegende, potenziell irreversible Umweltauswirkungen wahrscheinlich sind.
Whole Earth Approach	Ganzheitlicher Erdsystemansatz	Eine ganzheitliche Sichtweise, die den Planeten als ein tief verbundenes System betrachtet - ein dichtes Netz von interagierenden Teilen. Dieser Ansatz betont, dass alle Aspekte (oder Grenzen) des Planeten bei der Bewertung menschlicher Maßnahmen berücksichtigt werden müssen. So kann beispielsweise der Klimawandel nur dann erfolgreich bekämpft werden, wenn die Biosphäre intakt gehalten wird.
Control Variable	Kontrollvariable	Eine Variable, die als repräsentativer Indikator verwendet wird, um den Zustand oder die Bedingung eines PB-Prozesses abzuschätzen. Normalerweise werden 1-2 Kontrollvariablen pro PB verwendet, um den Status der Grenze zu überwachen und zu bewerten.
Planetary Health Check	Planetarer Gesundheitscheck	Eine umfassende Bewertung des Zustands des Planeten im Hinblick auf die planetaren Belastungsgrenzen.
Climate Change	Klimawandel	Die Veränderung des Strahlungsgleichgewichts der Erde - zum Beispiel durch die Ansammlung von Treibhausgasen in der Atmosphäre
(Change in) Biosphere Integrity	Veränderung der Biosphärenintegrität	Der Rückgang der Vielfalt, des Umfangs und der Gesundheit von lebenden Organismen und Ökosystemen

Land System Change	Veränderung der Landnutzung	Die Umwandlung natürlicher Landschaften, z. B. durch Abholzung und Verstädterung
Freshwater Change	Veränderung des Süßwasserkreislaufs	Die Veränderung des globalen Wasserkreislaufs
(Modification of) Biogeochemical flows	Veränderung biogeochemischer Kreisläufe	Die Unterbrechung der globalen Nährstoffkreisläufe von Stickstoff und Phosphor
Ocean Acidification	Ozeanversauerung	das Phänomen des zunehmenden Säuregehalts (sinkender pH-Wert) des Meerwassers aufgrund der Aufnahme von CO ₂ aus der Atmosphäre
Atmospheric Aerosol Loading	Atmosphärische Aerosolbelastung	Der Anstieg von Partikeln in der Luft durch menschliche Aktivitäten oder natürliche Quellen
Stratospheric Ozone Depletion	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht	Die Ausdünnung der Ozonschicht in der oberen Atmosphäre, die in erster Linie auf vom Menschen hergestellte Chemikalien zurückzuführen ist
Introduction of Novel Entities	Eintrag menschengemachter Substanzen	Die Einführung neuartiger Entitäten umfasst synthetische Chemikalien und Substanzen, anthropogen mobilisierte radioaktive Stoffe und menschliche Eingriffe in evolutionäre Prozesse, wie genetisch veränderte Organismen (GVO) und andere direkte Veränderungen der Evolution.
CO ₂ concentration	CO ₂ -Konzentration	Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre
Radiative Forcing	Strahlungsantrieb	Ein direktes Maß für die Veränderung der Energiebilanz an der Oberseite der Atmosphäre, das angibt, wie viel Energie dem Klimasystem der Erde hinzugefügt oder entzogen wird. Umfasst alle menschlichen Aktivitäten, die die Energiebilanz der Erde beeinflussen: CO ₂ -Emissionen, andere Treibhausgase (z. B. Methan, Distickstoffoxid), Aerosole und Landnutzungsänderungen.
Phosphorus Cycle	Phosphor-Kreislauf	Phosphor ist ein Nährstoff, der für das Pflanzenwachstum wichtig ist und als Dünger auf die Felder gebracht wird. Der "Phosphor-Kreislauf" umfasst alle Prozesse in der Natur, bei denen Phosphor durch Pflanzen, Tiere, Böden, Gestein und Gewässer bewegt wird.

Nitrogen Cycle	Stickstoff-Kreislauf	Stickstoff ist ein Nährstoff, der für das Pflanzenwachstum wichtig ist und als Düngemittel auf die Felder ausgebracht wird. Der "Stickstoff-Kreislauf" umfasst alle Prozesse in der Natur, die Stickstoff durch Pflanzen, Tiere, Böden, Gewässer und die Atmosphäre transportieren.
Green Water	Grünes Wasser	Für Pflanzen verfügbares Frischwasser (= Bodenfeuchtigkeit)
Blue Water	Blaues Wasser	Süßwasser, das sich in Seen, Flüssen und Stauseen befindet
Functional Integrity	funktionale Integrität	Das Funktionieren des Lebens auf der Erde, gemessen daran, wie viel Energie die Natur durch Photosynthese aufnimmt ("Ökosystemproduktivität"). Sie wird gemessen als das Ausmaß, in dem menschliche Aktivitäten (z. B. Land- und Forstwirtschaft und Verstädterung) die Produktivität der Ökosysteme verändern und Energie entziehen, indem sie Produkte für den menschlichen Gebrauch und Verbrauch ernten
Genetic Diversity	Genetische Vielfalt	Die Vielfalt des Lebens auf der Erde, gemessen daran, wie viele verschiedene Arten aussterben
Tipping Point	Kippunkt	Eine kritische Schwelle in einem System, bei deren Überschreitung sich die Veränderungen selbst verstärken und zu erheblichen, weit verbreiteten, häufig abrupten und oft irreversiblen Auswirkungen führen.
Tipping Element	Kippelement	Eine Komponente des Erdsystems, die einen Kippunkt überschreiten kann, was zu einer größeren und oft unumkehrbaren Veränderung ihres Zustands führt. Beispiele sind Eisschilde, Meeresströmungen oder großräumige Ökosysteme.
Drivers of Transgression	Treiber von Überschreitungen (planetarer Belastungsgrenzen)	Menschliche Aktivitäten, die dazu beitragen, Planetare Belastungsgrenzen (PB) zu überschreiten oder zu verletzen, was dazu führt, dass das Erdsystem aus seinem sicheren Handlungsbereich herausgedrängt wird. Beispiele sind die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die Abholzung von Wäldern und die Verschmutzung