

Planetare Grenzen, Überschreitungen und Potentiale mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem

Martin Müller

BBA, Cert.H.E. Natural Sciences

Email: m.mueller@industryfootprint.org

Web: <https://landwirtschaft.jetzt>

06. August 2021

1. Einleitung

Das Stockholm Resilience Center hat 2009 [1] und 2015 [2] insgesamt 9 anthropogene planetare Grenzen (PG) identifiziert, die nicht überschritten werden dürfen. Ein dauerhaftes Überschreiten dieser Planetaren Grenzen destabilisiert das Erdsystem und gefährdet die Existenz der Menschheit. Vier Planetaren Grenzen sind bereits überschritten, davon zwei so stark, dass für diese ein gesichert hohes Risiko an katastrophalen Konsequenzen besteht (PG: Verlust an Biodiversität, PG: Emissionen eutrophierender Stoffe).

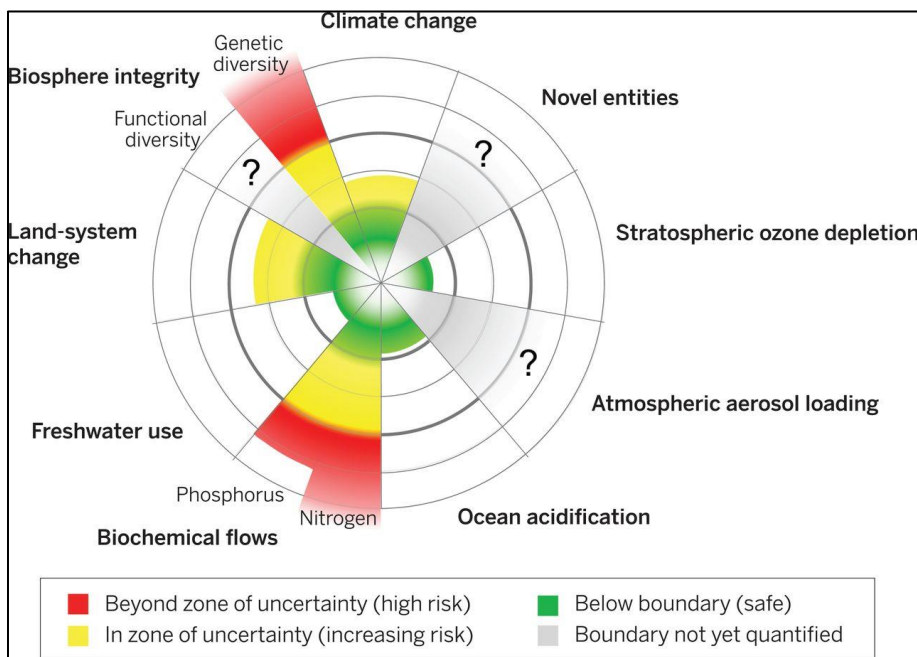


Abbildung 1: Neun Planetare Grenzen gem. Stockholm Resilience Center 2015

Zwei der vier Planetaren Grenzen haben jeweils unabhängig voneinander das Potential, die Erde für Menschen unbewohnbar zu machen (PG: Verlust an Biodiversität, PG: Klimawandel).

Die vier aktuell überschrittenen Planetaren Grenzen werden hier insbesondere im Hinblick auf Potentiale bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem näher betrachtet.

2. Die vier überschrittenen planetaren Grenzen und ihre Wechselwirkungen

Vier Planetare Grenzen (PG) sind überschritten, davon zwei stark (roter Bereich). Zwei Planetare Grenzen haben jeweils einzeln das Potential, die Erde für Menschen unbewohnbar zu machen (rote Schrift). Die Planetaren Grenzen stehen in Wechselwirkung. Hinzu kommen weitere Faktoren, wie versauernde Gase, Pestizide und Wildtierhandel [3].

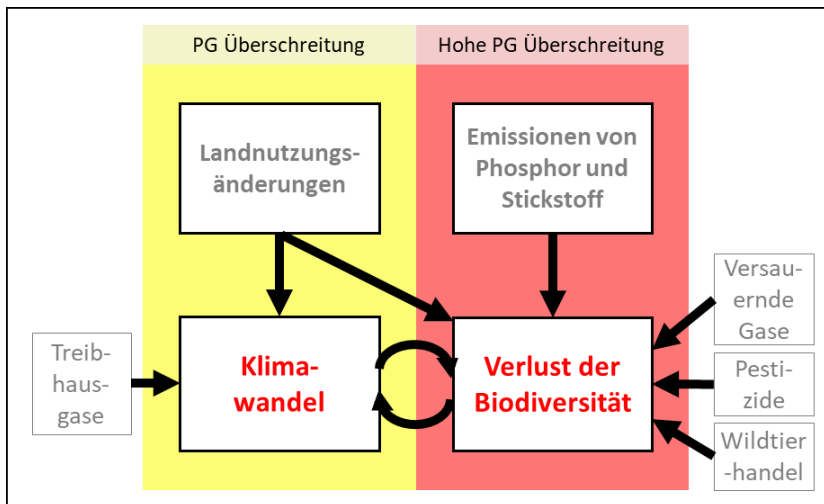


Abbildung 2: Überblick zu den vier überschrittenen Planetaren Grenzen, ihren Wechselwirkungen und zusätzlichen Einflussfaktoren

2.1 Planetare Grenze: Landnutzungsänderungen

Landnutzungsänderungen sind primär in der Vergangenheit erfolgte und aktuelle Rodungen und die Hauptursache für das Artensterben, den Verlust der Biodiversität und den Klimawandel durch fehlende Kohlenstoffsinken. Die Messgröße für diese Planetare Grenze ist der Waldbestand [1][2].

Messgröße: Waldbestand

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 90% [4]

Planetare Grenze: 75% [2]

Waldbestand 2015 gem. [2]: 62%

Berechnungen

Gesamte globale Entwaldung		
Waldbestand 10k a bp [4]	60	Mio. km ²
Waldbestand 1750 [4]	54	Mio. km ²
Waldbestand 2019 [5]	39	Mio. km ²
Entwaldung	21	Mio. km ²
Waldbestand (39 Mio. km ² / 60 Mio. km ²)	65%	

Tabelle 1: Berechnung des aktuellen Waldbestands im Jahr 2019

Der Waldbestand (2019) gem. Berechnung in Tabelle 1 beträgt 65%.

Globale Rodungen für Tierhaltung				
	Ackerland	Weiden	Gesamt	
Regenwald [6]	98	427	525	Mio. ha
Wald in gemäßigten Breiten [6]	194	220	414	Mio. ha
Borealer Wald [6]	9	15	24	Mio. ha
Gesamt (ha)	301	662	963	Mio. ha
Gesamt (km ²)			9,6	Mio. km ²

Tabelle 2: Berechnung der globalen Rodungen für Tierhaltung

Die global gerodeten Flächen für die Tierhaltung gem. Berechnung in Tabelle 2 betragen 9,6 Mio km² (~46% : 9,6 Mio. km² / 21 Mio km²).

Bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem können bis zu 31 Mio. km² frei werden [7]. Bei entsprechender Priorisierung wird hier angenommen, dass sich so die vollen für die Tierhaltung gerodeten Flächen von 9,6 Mio. km² aufforsten ließen.

Ergebnis

Ein globaler Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem ermöglicht eine Erhöhung des Waldbestands von 65% auf bis zu 81% ((9,6 Mio. km² + 39 Mio. km²)/ 60 Mio. km²).

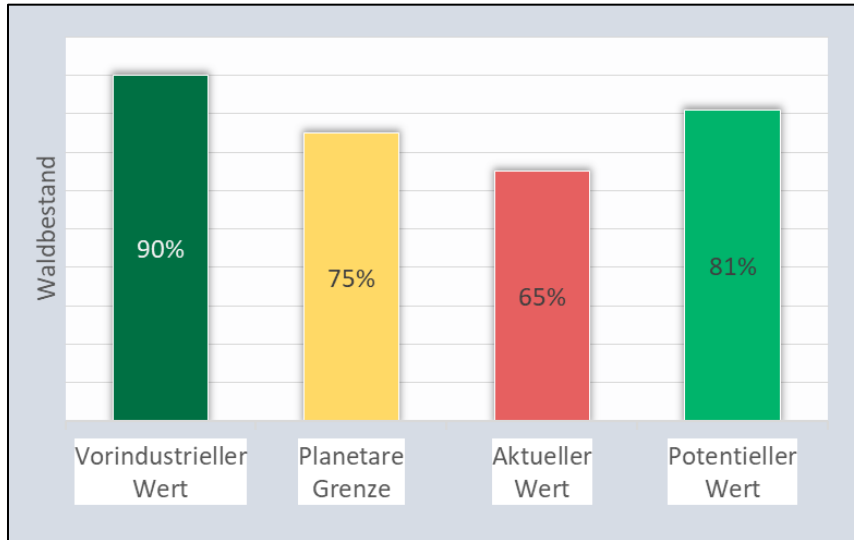


Abbildung 3: Potentielle Erreichbarkeit eines Waldbestands bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem und Aufforstung

2.2 Planetare Grenze: Eutrophierende Emissionen

Eutrophierende Stoffe sind hauptsächlich Stickstoff (N) und Phosphor (P). Der Gülle-/Misteintrag und der Einsatz von Kunstdünger haben ein Überangebot an gebundenem Stickstoff und Phosphor im Boden zur Folge, was eine Eutrophierung von Gewässern, Flüssen und schließlich Meeresgebieten verursacht. Anthropogene Stickstofffixierungen erfolgen durch die Herstellung von Kunstdünger (80 Mt/Jr), durch den Anbau von Leguminosen (40 Mt/Jr) und durch Verbrennung fossiler Stoffe (20 Mt/Jr) und Biomasse (10 Mt/Jr) [9].

Phosphor wird über Phosphatabbau gewonnen.

a1.) Phosphorflüsse global

Messgröße: Phosphoreinträge (P) in Gewässer

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 1 Mt/Jr [1]

Planetare Grenze: 11 Mt/Jr [2]

Globale P-Flüsse 2015: 22 Mt/Jr (+100%) [2]

a2.) Phosphorausbringung regional

Messgröße: Phosphorabbau und –ausbringung (P) auf Felder

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 0 Mt/Jr

Planetare Grenze: 6,2 Mt/Jr [2]

Regionale P-Einträge 2015: 14,2 Mt/Jr (+129%) [2]

b.) Stickstoff

Messgröße: Anthropogene Stickstofffixierungen

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 0 Mt/Jr [1]

Planetare Grenze globale anthropogene N-Fixierungen: 62 Mt/Jr [2]

Globale anthropogene N-Fixierungen 2015: 150 Mt/Jr (+142%) [2]

Berechnungen

Anteil Biomasseproduktion für Nahrungsmittel		
Biomasse Pflanzen für Menschen [10]	33	Exajoule
Biomasse Tierfutter [10]	130	Exajoule
Biomasse Industrie [10]	9	Exajoule
Biomasse Bioenergie [10]	8	Exajoule
Biomasse Abfall [10]	12	Exajoule
Anteil Biomasseproduktion für Nahrungsmittel (163 EJ/ 192 EJ)	85%	

Tabelle 3: Berechnung Anteil Biomasseproduktion für Nahrungsmittel

Reduktionspotential Phosphorflüsse global		
Globale P-Flüsse [2]	22	Mt/Jr
Anteil Biomasseproduktion für Nahrungsmittel	85%	
P-Flüsse (Nahrungsmittelproduktion) ¹	18,7	Mt/Jr
Reduktionspotential (Nahrungsmittelproduktion) in % [7]	49%	
Reduktionspotential (Nahrungsmittelproduktion)	9,1	Mt/Jr
Potentiell erzielbare globale P-Flüsse	12,9	Mt/Jr

Tabelle 4: Berechnung Reduktionspotential Phosphorflüsse global

Reduktionspotential Phosphorausbringung regional		
Regionale P-Ausbringung auf Felder [2]	14,2	Mt/Jr
Reduktionspotential in % [7]	49%	
Reduktionspotential	7	Mt/Jr
Potentiell erzielbare regionale P-Ausbringung	7,2	Mt/Jr

Tabelle 5: Berechnung Reduktionspotential Phosphorausbringung regional

¹ Phosphor aus Phosphatabbau wird zu 95% in der Landwirtschaft eingesetzt. Teile der globalen Phosphorflüsse entstehen auch unabhängig von anthropogenem Phosphatabbau durch Gülle/Mist aus der Tierhaltung. Insgesamt wird hier daher von vernachlässigbaren Einträgen aus nicht-landwirtschaftlichen Bereichen (Waschmittel, Industrie, etc.) ausgegangen.

Reduktionspotential Stickstofffixierungen		
Stickstofffixierungen Landwirtschaft [9]	120	Mt/Jr
Stickstofffixierungen andere Sektoren [9]	30	Mt/Jr
Reduktionspotential der landwirtschaftlichen Stickstofffixierungen in % [7]	49%	
Reduktionspotential	59	Mt/Jr
Potentiell erzielbare Stickstofffixierungen	91	Mt/Jr

Tabelle 6: Berechnung Reduktionspotential Stickstofffixierungen

Ergebnis

Ein globaler Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem ermöglicht die Senkung der anthropogenen Stickstofffixierungen von 150 Mt/Jr auf 91 Mt/Jr, eine Senkung des globalen Phosphoreintrags in Gewässer von 22 Mt/Jr auf 13 Mt/Jr und eine Senkung der regionalen Phosphorausbringung von 14 Mt/Jr auf 7 Mt/Jr.

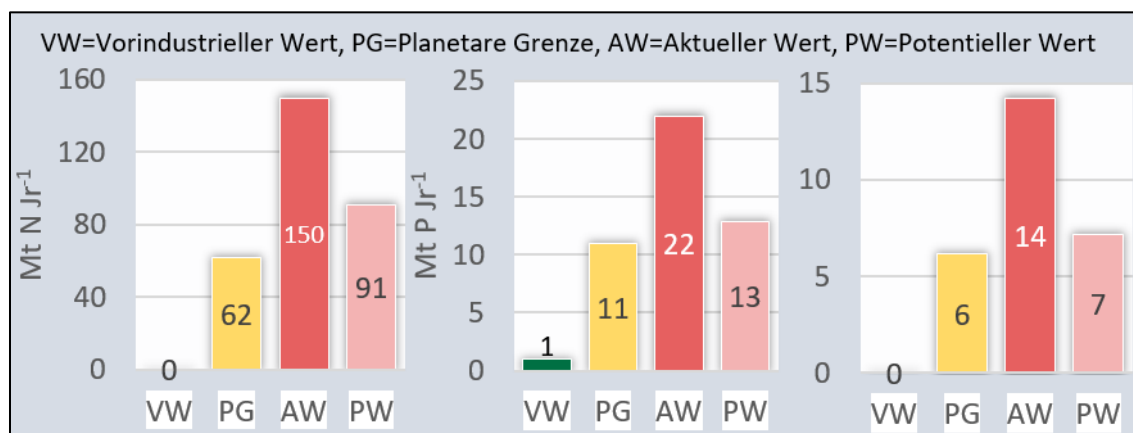


Abbildung 4: Potentielle Erreichbarkeit von Stickstoff- und Phosphorproduktionen und -emissionen mit einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem

2.3 Planetare Grenze: Klimawandel

Die Überschreitung der Planetaren Grenze für den Klimawandel alleine kann die Erde für den Menschen unbewohnbar machen. Die Messgrößen für die Planetare Grenze sind die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und der anthropogene Strahlungsantrieb der Treibhausgase und Albedoeffekte. Die maßgeblichen Sektoren für die Emission von Treibhausgasen und den Strahlungsantrieb sind die Tierhaltung, die fossile Energieerzeugung, der fossile Transport, die fossile Wärmeerzeugung und die Zementherstellung ([11], S.6).

a.) Anthropogener Treibhausgasanstieg CO₂

Messgröße: CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 278 ppm

Planetare Grenze: 350 ppm für CO₂ [2]

CO₂ Konzentration 2021: 413 ppm [12]

b.) Anthropogener Anstieg der Strahlungsantriebe aller anthropogenen Treibhausgase, Aerosole und Albedo-Effekte

Messgröße: Strahlungsantriebe

Vorindustrieller Wert (1750 AD): 0 W/m²

Planetare Grenze: 1 W/m² [2]

Strahlungsantrieb 2021: 2,73 W/m² ([11], S.6, [12]) (+173%)

Berechnungen

a.) Anthropogener Treibhausgasanstieg CO₂

Anzahl Jahre CO₂-Sequestration für 350 ppm CO₂ bei sofortigem Stopp der CO₂-Emissionen		
Notwendige Reduktion von CO ₂ in der Atmosphäre in ppm [2]: 413 -350	63	ppm
Notwendige Reduktion von CO ₂ in der Atmosphäre in Gt ([11], S.9): (5,135 x 10 ⁶ Gt x (413-350) x 10 ⁻⁶ x (44,009 x 28,966 ⁻¹))	491	Gt
Durchschnittliche, zusätzliche Sequestrierung pro Jahr an Land durch CO ₂ -Düngung, und im Meer durch Partialdruck [15]	18,6	Gt
Durchschnittliche Sequestrierung pro Jahr mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem und Aufforstung gem. [13]	8,1	Gt
Durchschnittliche maximale Sequestrierung pro Jahr mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem und Aufforstung gem. [8]	18,2	Gt
Anzahl Jahre (491 Gt CO ₂ / (18,6 Gt CO ₂ + 8,1 Gt CO ₂) [15][13]	~18	Jahre
Anzahl Jahre (491 Gt CO ₂ / (18,6 Gt CO ₂ + 18,2 Gt CO ₂) [15][8]	~13	Jahre

Tabelle 7: Berechnung Anzahl Jahre CO₂-Sequestration für 350 ppm CO₂

b.) Strahlungsantriebe

Bei einem Stopp aller anthropogenen Treibhausgasemissionen, sinken die Strahlungsantriebe für die meisten Treibhausgase wegen der geringen Lebenszeiten nach wenigen Jahren auf null (anthropogene Anteile von CH₄, O₃, H₂O, Aerosole). Ebenso sinken die Strahlungsantriebe für Contrails und anthropogene Albedoeffekte auf (nahe) null. N₂O und einige CFCs/HFCs/HFs sind langlebige Treibhausgase. Für N₂O mit einer Lebenszeit von 121 Jahren befinden sich nach ca. 50 Jahren noch ~70% der anthropogenen Menge in der Atmosphäre. CFCs/HFCs/HFs haben sehr unterschiedliche Lebenszeiten, diejenigen mit einer hohen Treibhauswirkung und hohen Konzentrationen (z.B. CFC-12) haben eine Abbaupzeit von ca. 100 Jahren [14]. Im Durchschnitt wird für diese Treibhausgase ein verbleibender Strahlungsantrieb nach 50 Jahren von ca. 50% angenommen.

Notwendiger Zielwert von CO₂ in der Atmosphäre in ppm zur Erreichung eines Strahlungsantriebs von 1 W/m² aller anthropogenen Treibhausgase		
Strahlungsantrieb N ₂ O nach 50 Jahren (0,21 W/m ² x 70%) [14]	0,14	W/m ²
Strahlungsantrieb CFCs/HFCs/HFs nach 50 Jahren (0,36 W/m ² x 50%) [14]	0,18	W/m ²
Notwendiger Zielwert des Strahlungsantriebs von CO ₂ (1 W/m ² - 0,14 W/m ² - 0,18 W/m ²)	0,68	W/m ²
Notwendige CO ₂ - Konzentration für einen Strahlungsantrieb von 0,68 W/m ²	315	ppm

Tabelle 8: Berechnung Zielwert von CO₂ in der Atmosphäre in ppm

Anzahl Jahre CO ₂ -Sequestration für Strahlungsantrieb 1 W/m ² bei sofortigem Stopp aller anthropogenen Treibhausgas –Emissionen		
Notwendige Reduktion von CO ₂ in der Atmosphäre in ppm zur Erreichung von 1 W/m ² : 413 – 315	98	ppm
Notwendige Reduktion von CO ₂ in der Atmosphäre in Gt ([11], S.9): (5,135 x 10 ⁶ Gt x (413–315) x 10 ⁻⁶ x (44,009 x 28,966 ⁻¹))	765	Gt
Durchschnittliche, zusätzliche Sequestrierung pro Jahr an Land durch CO ₂ -Düngung, und im Meer durch Partialdruck [15]	18,6	Gt
Durchschnittliche Sequestrierung pro Jahr mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem und Aufforstung gem. [13]	8,1	Gt
Durchschnittliche maximale Sequestrierung pro Jahr mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem und Aufforstung gem. [8]	18,2	Gt
Anzahl Jahre (765 Gt CO ₂ / (18,6 Gt CO ₂ + 8,1 Gt CO ₂) [15][13]	~29	Jahre
Anzahl Jahre (765 Gt CO ₂ / (18,6 Gt CO ₂ + 18,2 Gt CO ₂) [15][8]	~21	Jahre

Tabelle 9: Berechnung Anzahl Jahre CO₂-Sequestration für 1 W/m² Strahlungsantrieb

Ergebnis

Ein globaler Wechsel auf pflanzenbasiertes Ernährungssystem ermöglicht die Senkung von CO₂ von 350 ppm auf 413 ppm innerhalb von **13 – 18 Jahren** und die Senkung des Strahlungsantriebs von 2,7 W/m² auf 1 W/m² innerhalb von **21 – 29 Jahren** (bei einer gleichzeitigen Aufforstung der freigewordenen Flächen und einem Stopp der Emissionen).

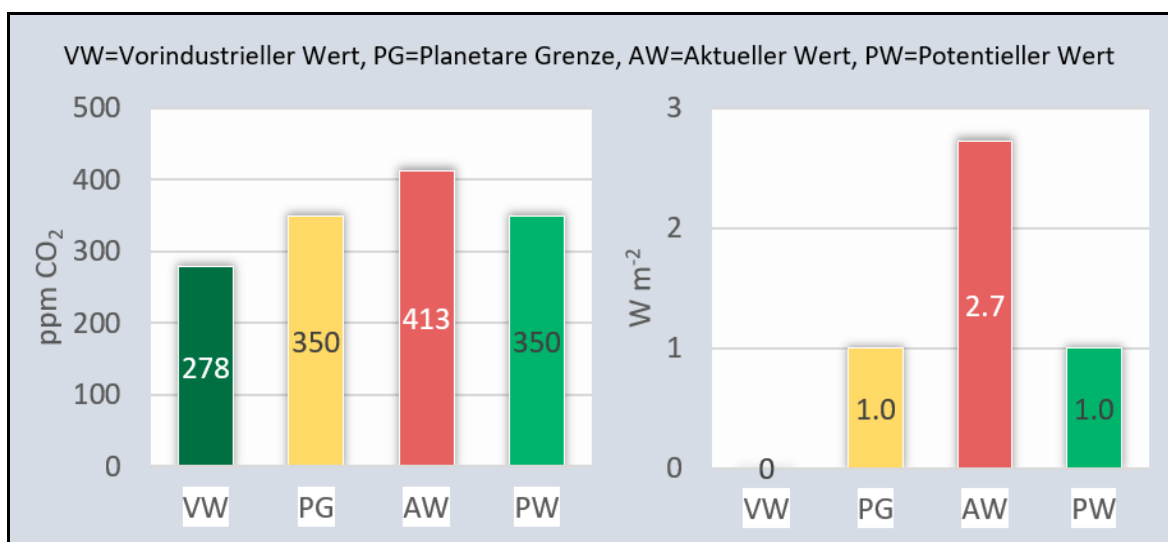


Abbildung 5: Erreichbarkeit der Planetaren Grenzen für CO₂-Konzentration und Strahlungsantrieb mit a.) einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem, b.) Aufforstungen, c.) Stopp der Emissionen innerhalb von insgesamt frühestens 13 Jahren bzw. 21 Jahren

2.4 Planetare Grenze: Biodiversitätsverlust

Die Überschreitung der planetaren Grenze für den Verlust an Arten und der Biodiversität alleine kann die Erde für den Menschen unbewohnbar machen. Die Messgröße für die Planetare Grenze sind die Aussterbefälle pro 1 Million Arten pro Jahr (E/MSY).

Messgröße: Artensterben (Tiere)

Hintergrundrate: 0,1 – 1 Aussterbefälle pro 1 Million Arten pro Jahr (E/MSY)

Planetare Grenze: 1 – 10 E/MSY

Aussterberate 2015: 100 – 1000 E/MSY (1000% - 100000%)

Berechnungen

Reduzierung der Habitatnutzungen bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem		
Bewohnbares Land [5]	104	Mio. km ²
Nutzung für Dörfer, Städte, Straßen [5]	1,5	Mio. km ²
Nutzung für Landwirtschaft [5]	51	Mio. km ²
... Nutzung für Pflanzenbau für Menschen (23%) [5]	11	Mio. km ²
... Nutzung für Tierhaltung (77%) [5]	40	Mio. km ²
... Freiwerdendes Land mit einem pflanzenbasierten Ernährungssystem (76%) [7]	30,4	Mio. km ²
Vorindustrielle Landnutzung (1750 AD) [4]	11,7	Mio. km ²
Reduzierung der Habitatnutzungen bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem (30,4 Mio. km ² / (52,5 Mio. km ²))	58%	

Tabelle 10: Berechnung der potentiellen Reduzierung der Habitatnutzungen

Ergebnis

Die Effekte eines Wechsels zu einem pflanzenbasierten Ernährungssystem auf das Artensterben sind nicht direkt quantifizierbar. Die Ursachen für das Artensterben und den Verlust an Biodiversität sind vielfältig und meist wechselwirkend. Die Hauptursache sind jedoch Landnutzungsänderungen. 3% der Landnutzungsänderungen erfolgten für Dörfer, Städte und Straßen, 21% für Pflanzenbau für Menschen und 76% für die Tierhaltung. Die Tierhaltung ist mit Abstand die größte direkte Ursache für Habitatzerstörungen. Mit einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem können 58% aller anthropogenen Habitatnutzungen rückgängig gemacht werden. Hinzu kommt, dass ohne Tierhaltung die Frischwasserverbräuche, die Emissionen von eutrophierenden und versauernden Substanzen, der Einsatz von Pestiziden und der Wildtierhandel stark zurückgehen.

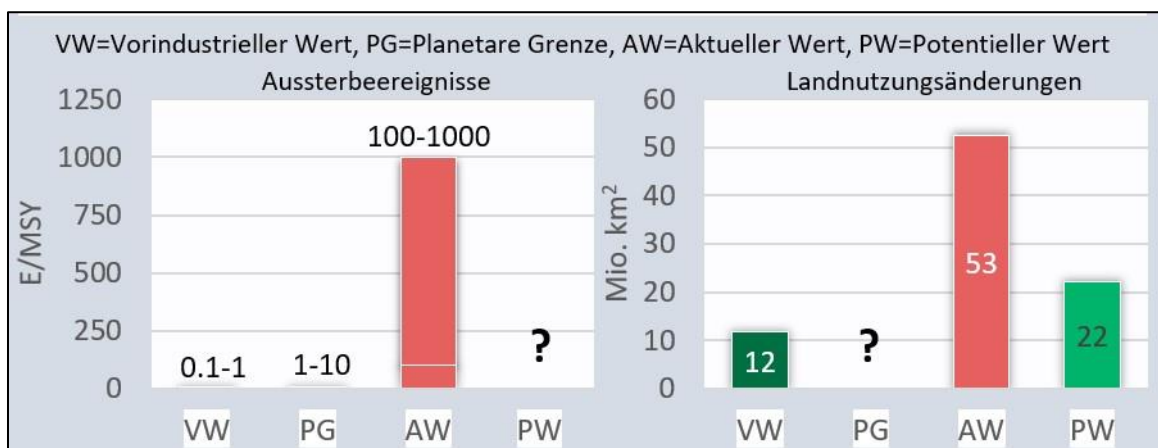


Abbildung 6: Überschreitung der Planetaren Grenze für den Verlust der Biodiversität und potentielle Reduzierung von Habitatnutzungen bei einem Wechsel auf ein pflanzenbasiertes Ernährungssystem

3. Zusammenfassung

- Von allen Planetaren Grenzen ist die der Biodiversität bei weitem am höchsten überschritten.
- Alle anderen Planetaren Grenzen wirken verstärkend auf die Planetare Grenze der Biodiversität ein.
- Die Tierhaltung ist eine der Hauptursachen für den Klimawandel, jedoch **DIE** Hauptursache für alle anderen drei Planetaren Grenzen, ganz besonders aber für die der Biodiversität.
- Alleine mit einem Ausstieg aus der Tierhaltung könnten die Planetaren Grenzen für Landnutzungsänderungen vollständig und für eutrophierende Emissionen weitestgehend eingehalten werden.
- Die Planetare Grenze des Klimawandels könnte mit einem Ausstieg aus der Tierhaltung, einer Aufforstung der freigewordenen Flächen und einem Stopp der Emissionen aller Industrien innerhalb von **21 Jahren** erreicht werden.
- Eine Erzielung der Planetaren Grenze der Biodiversität ist nicht direkt errechenbar. Tierhaltung ist aber die Hauptursache für Landnutzungsänderungen, die wiederum die Hauptursache für den Verlust von Arten sind. Zudem wirkt die Tierhaltung maßgeblich über weitere Faktoren ein. Ein Ausstieg aus der Tierhaltung in Verbindung mit einer globalen Aufforstung ist damit eine der effektivsten und dringendsten Strategien gegen den Verlust der Biodiversität.

4. Quellen

- [1] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. et al. (2009): A safe operating space for humanity. In: Nature Nummer 461, S. 472–475 [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.1038/461472a>, Zugriff am 12.06.2021
- [2] Steffen, W. et al. (2015): Planetary boundaries. Guiding human development on a changing planet. In Science Nummer 347, Ausgabe 6223, S. 736 ff. [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.1126/science.1259855>, Zugriff am 12.06.2021
- [3] Umweltbundesamt (2018): Daten zur Umwelt, Ausgabe 2018, Umwelt und Landwirtschaft, Hannover: dieUmweltdruckerei [Online]. Verfügbar über <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>, Zugriff am 12.06.2021
- [4] Global Change Data Lab: Our World in Data (2021), Daten basierend auf FAOSTAT (UN Food and Agriculture Organization) und Williams, M. (2003): Deforesting the earth [Online]. Verfügbar über <https://ourworldindata.org/forest-area>. Zugriff am 12.06.2021
- [5] Global Change Data Lab: Our World in Data (2021), Daten basierend auf FAOSTAT (UN Food and Agriculture Organization) [Online]. Verfügbar über <https://ourworldindata.org/land-use>. Zugriff am 12.06.2021
- [6] Hayek et al. (2021): The carbon opportunity cost of animalsourced food production on land (Supplementary Material), Table 4 [Online]. Verfügbar über: https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fs41893-020-00603-4/MediaObjects/41893_2020_603_MO-ESM1_ESM.pdf. Zugriff am 12.06.2021
- [7] Poore, J., Nemecek, T. (2018): Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. In: Science, Juni 2018, Nummer 360, Ausgabe 6392, S. 987–992 [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>, Zugriff am 12.06.2021
- [8] Hayek, M. et al. (2020): The carbon opportunity cost of animal-sourced food production on land. In: Nature Sustainability, September 2020 [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00603-4>, Zugriff am 12.06.2021
- [9] Rockström, J. et al. (2009): Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. In: Ecology and Society 14(2): 32. [Online]. Verfügbar über <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>, Zugriff am 12.06.2021
- [10] acatech, Leopoldina, Akademienunion (2019): Flussdiagramm der geernteten globalen Biomasseflüsse in Exajoule/Jahr für 2000. Basierend auf Smith et al. 2014 und Daten aus Erb et al. 2007, Schneider et al. 2009, FAO 2010, Wirsenius 2003, Sims et al. 2006, Krausmann et al. 2008, FAOSTAT 2012 und Kummu et al. 2012. In: acatech Jahresbericht 2019, Seite 27 [Online] Verfügbar über <https://jahresbericht2019.acatech.de/jahresbericht-pdf>, Zugriff am 12.06.2021
- [11] Müller, M. (2021): The contributions of animal agriculture and major fossil-fuel-based industries to global warming, [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22613.35040/1>, Zugriff am 12.06.2021
- [12] Müller, M. (2021): Industry Footprint Calculator [Online]. Verfügbar über <https://industryfootprint.org/ifc>, Zugriff am 12.06.2021

[13] Poore, J., Nemecek, T. (2018): Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. In: Science, Juni 2018, Nummer 360, Ausgabe 6392, Erratum [Online]. Verfügbar über <https://science.sciencemag.org/content/363/6429/eaaw9908>, Zugriff am 12.06.2021

[14] Myhre, G., D. Shindell et al. (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Online]. Verfügbar über www.climate-change2013.org und www.ipcc.ch, Zugriff am 12.06.2021

[15] Friedlingstein P. et al. (2020): Global Carbon Budget 2020. In: Earth Syst. Sci. Data, 12, 3269–3340, 2020, Table 6 [Online]. Verfügbar über <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>, Zugriff am 05.08.2021