

Ökologisch-planetare Vertiefung

Zweck. Dieser Text arbeitet den ökologisch-planetaren Strang des Bündels FORSCH-0090 vollständig durch und vertieft die in Schicht 8 (Industrie) und Schicht 13 (Aquakultur) nur summarisch behandelte Umweltbilanz industrieller Tierproduktion. Er stützt sich auf die größten verfügbaren Lebenszyklus-Datensätze und hält drei Dinge ehrlich auseinander: globale Aggregatzahlen, produkt-spezifische Intensitäten und regionale Differenzierung. Jede Aussage ist am Ende nach Evidenzstärke gestuft (§9).

Methodischer Rahmen — die Bezugsgröße entscheidet. Umweltbilanzen hängen stark von der funktionalen Einheit ab: pro Kilogramm, pro Kilokalorie oder pro Gramm Protein ergeben sich unterschiedliche Rangfolgen. Datenrückgrat ist die bislang umfassendste Meta-Analyse: **Poore & Nemecek 2018** (*Science* 360(6392):987–992, doi:10.1126/science.aag0216) konsolidiert ~38.700 Farmen in 119 Ländern über 40 Produkte und deckt Land, Treibhausgase, Wasser, Versauerung und Eutrophierung entlang der gesamten Lieferkette ab. „Kausal“ ist in der Ökologie selten der passende Begriff; hier zählt die Robustheit der Bilanz über unabhängige Datensätze.

1. Treibhausgase — drei ineinandergreifende Zahlen

1.1 Ernährungssysteme insgesamt. Crippa et al. 2021 (*Nature Food* 2:198–209, doi:10.1038/s43016-021-00225-9, EDGAR-FOOD): das globale Ernährungssystem verursachte 2015 etwa **18 Gt CO₂-Äquivalent** — **rund 34 % aller menschengemachten Treibhausgase** (von Produktion über Verarbeitung, Transport, Verpackung bis Konsum und Abfall).

1.2 Tierisch vs. pflanzlich. Xu et al. 2021 (*Nature Food* 2(9):724–732, doi:10.1038/s43016-021-00358-x): von den Nahrungs-Emissionen entfallen **57 % auf tierische Lebensmittel (inkl. Futtermittel), 29 % auf pflanzliche, 14 % auf sonstige Nutzungen** — tierische Nahrung emittiert global etwa doppelt so viel wie pflanzliche.

1.3 Nutztiersektor. Gerber et al. 2013 (FAO, *Tackling climate change through livestock*): die Lieferketten der Nutztierhaltung emittieren **~7,1 Gt CO₂-Äq./Jahr ≈ 14,5 % der menschengemachten Treibhausgase**; Hauptquellen: Futterproduktion (45 %), enterische Fermentation/Methan (39 %), Güllezersetzung (10 %). **Ehrlich:** die 14,5-%-Zahl ist methodisch umstritten (Abgrenzungs- und GWP-Fragen; einzelne Re-Analysen kommen niedriger heraus). Die *Richtung* — Nutztierhaltung als großer Einzelposten — ist über alle Datensätze robust; die *exakte Prozentzahl* ist es nicht.

1.4 Produkt-Spreizung und Methan. Innerhalb der Tierprodukte ist die Spreizung enorm: Rindfleisch ist pro Gramm Protein um etwa eine Größenordnung emissionsintensiver als Hülsenfrüchte (Poore & Nemecek 2018). Ein Teil der Wiederkäuer-Emissionen ist **Methan** (enterische Fermentation) — kurzlebiger, aber kurzfristig sehr potenter Treiber (GWP-100 vs. GWP-20 verändert die Bilanz; das ist eine echte methodische Debatte, kein Freibrief).

2. Landnutzung — der größte Hebel

Poore & Nemecek 2018: Landwirtschaft nutzt etwa **43 % der eis- und wüstenfreien Landfläche**; davon entfallen **rund 83 % auf tierische Lebensmittel — die aber nur ~18 % der Kalorien und ~37 % des Proteins liefern**. Das ist die zentrale Ineffizienz: ein Großteil der globalen Agrarfläche produziert einen kleinen Teil der Nahrungsenergie.

Daraus folgt das Konzept der **Kohlenstoff-Opportunitätskosten**: Fläche, die für Tierproduktion (inkl. Futteranbau) gebunden ist, könnte teils renaturiert werden und CO₂ binden. Eine globale Verschiebung zu pflanzenbetonter Kost würde nach Poore & Nemecek die **Agrarfläche**

um ~76 % und die Nahrungs-Treibhausgase um ~49 % senken — der größte einzelne Umwelt-Hebel auf der Nachfrageseite. Status: robuste Modellierung über den größten LCA-Datensatz.

3. Wasser

Mekonnen & Hoekstra 2012 (*Ecosystems* 15(3):401–415, doi:10.1007/s10021-011-9517-8): etwa **ein Drittel des landwirtschaftlichen Wasser-Fußabdrucks** entfällt auf tierische Produkte; der Wasser-Fußabdruck **pro Kalorie ist für Rindfleisch ~20-mal größer als für Getreide**, pro Gramm Protein für Milch/Eier/Hühnerfleisch ~1,5-mal größer als für Hülsenfrüchte.

Ehrliche Differenzierung: Der größte Teil ist „grünes“ Wasser (Regen, der ohnehin fällt); knappheitsrelevant ist primär „blaues“ Wasser (Bewässerung/Grundwasser). Die ökologische Brisanz hängt also von der Region ab — Rindfleisch aus regenbasiertem Weideland belastet knappe Wasserressourcen weniger als bewässerter Futtermittelanbau in Trockengebieten. Die Aggregatzahl bleibt richtig, die lokale Wirkung variiert.

4. Stickstoff und Phosphor — die überschrittene Grenze

Die industrielle Tierproduktion ist über Futtermittelanbau (Dünger) und Gülle ein Haupttreiber **reaktiven Stickstoffs**. Der Haber-Bosch-Prozess hat den globalen Stickstoffkreislauf so stark verändert, dass die **planetare Grenze für biogeochemische Flüsse (N und P) als deutlich überschritten gilt** (Steffen et al. 2015, *Science*, doi:10.1126/science.1259855). Folgen: Eutrophierung von Gewässern, Todeszonen (z. B. Golf von Mexiko), Versauerung, Lachgas (N₂O, starkes Treibhausgas). Poore & Nemecek bilanzieren Eutrophierung explizit mit — tierische Produkte dominieren auch hier. **Status: robuste Bilanz + überschrittene planetare Grenze.**

5. Biodiversität und Entwaldung

Landnutzungswandel ist global der **wichtigste einzelne Treiber des Biodiversitätsverlusts** (IPBES 2019). Pendrill et al. 2019 (*Global Environmental Change* 56:1–10, doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.03.001): tropische Entwaldung 2010–2014 ≈ 2,6 Gt CO₂/Jahr, davon **Rind und Ölsaaten (v. a. Soja, Palmöl) über die Hälfte**; 2005–2013 waren 62 % des Waldverlusts kommerzieller Flächenexpansion zuzuschreiben, mit Rindfleisch, Forstprodukten, Ölpalme, Getreide und Soja als Haupttreibern. Ein erheblicher Teil des global gehandelten **Sojas ist Futtermittel** — die Entwaldung steckt also indirekt auch im europäischen Fleisch. **Status: stark.**

6. Aquakultur und Meere (Anschluss an Schicht 13)

Aquakultur reproduziert Umweltlasten unter Wasser: Eutrophierung durch Futter- und Fäkalfracht, Antibiotika und Pestizide (Lozano-Muñoz et al. 2018, *Front. Microbiol.* 9:1284, doi:10.3389/fmicb.2018.01284), Mangroven-Zerstörung für Garnelenfarmen (Hamilton & Casey 2016, doi:10.1111/geb.12449). Wildfang: ~38 % der Bestände überfischt (FAO 2024); Subventionen ~35 Mrd. USD/Jahr halten Überkapazität aufrecht (Sumaila et al. 2019, doi:10.1016/j.marpol.2019.103695). Detail siehe Schicht 13 und Aquakultur-Abschnitt des Wissenschafts-Spin-offs.

7. Planetare Grenzen — die Gesamtschau

Die EAT-Lancet-Kommission (Willett et al. 2019, *Lancet* 393:447–492, doi:10.1016/S0140-6736(18)31788-4) verankert die Ernährungsfrage in den **planetaren Grenzen** (Steffen et al. 2015): das Ernährungssystem ist ein Haupttreiber bei Klimawandel, Landsystemwandel, Süßwassernutzung, N-/P-Flüssen und Biodiversitätsverlust — bei mehreren dieser Grenzen ist die Tierproduktion der dominante Posten. Die „Planetary Health Diet“ ist stark pflanzenbetont. **Affordability-Vorbehalt:** ~1,58 Mrd. Menschen können sie sich finanziell nicht leisten (Hirvonen et al. 2020, doi:10.1016/S2214-109X(19)30447-4) — eine harte Klassen- und Globalsüd-Grenze, die jede schlichte „iss pflanzlich“-Botschaft begrenzt.

8. Ehrliche Differenzierung — was die Aggregatzahlen nicht sagen

Drei Einwände sind berechtigt und werden hier nicht weggewischt:

8.1 Extensive Weide auf Nicht-Ackerland. Wiederkäuer auf marginalem Grasland, das nicht ackerfähig ist, verwandeln für Menschen unverwertbare Biomasse in Nahrung. Das ist ökologisch anders zu bewerten als bewässerter Soja-Mais-Futteranbau für CAFOs — und es ist genau der Subsistenz-/Pastoralismus-Vorbehalt des Bündels. Aber: extensive Weide hat geringe Flächeneffizienz und kann den Welt-Fleischkonsum nicht tragen; sie ist eine Nische, kein Skalierungsmodell.

8.2 „Grasgefüttert ist klimaneutral.“ Teilweise irreführend: Grasrind hat oft *höhere* Methan-Emissionen pro kg (langsames Wachstum) und die Kohlenstoff-Opportunitätskosten der Fläche bleiben. Bodenkohlenstoff-Sequestrierung durch Beweidung ist real, aber begrenzt und sättigt sich — sie kompensiert die Lebenszyklus-Emissionen nicht vollständig.

8.3 LCA-Grenzen. Systemgrenzen, Allokationsregeln (Fleisch vs. Nebenprodukte), GWP-Zeithorizont und regionale Datenlücken erzeugen reale Unsicherheiten. Deshalb: *Richtung robust, Einzelprozentzahl unsicher.*

9. Evidenz-Grading

Befund	Beste Quelle	Status
Ernährungssystem ~34 % der globalen THG	Crippa 2021 (EDGAR-FOOD)	Robust
Tierische Nahrung ~2× THG pflanzlicher	Xu 2021	Robust
Nutztiersektor ~14,5 % THG	Gerber/FAO 2013	Richtung robust; %-Zahl umstritten
83 % Agrarfläche für 18 % Kalorien	Poore & Nemecek 2018	Robust
Pflanzenwende: –76 % Land, –49 % THG	Poore & Nemecek 2018	Robuste Modellierung
Rindfleisch-Wasser ~20× Getreide/kcal	Mekonnen & Hoekstra 2012	Robust (grün/blau differenzieren)
N-/P-Grenze überschritten	Steffen 2015	Robust
Rind/Soja >½ Tropen-Entwaldungs-Emissionen	Pendrill 2019	Stark
Extensive Weide ökologisch anders	LCA-Differenzierung	Berechtigt, aber Nische
Grasrind „klimaneutral“	LCA	Nicht belegt

10. Synthese

Erstens: Auf der Aggregatebene ist die Richtung über alle großen unabhängigen Datensätze robust — industrielle Tierproduktion ist ein dominanter Posten bei Treibhausgasen, Landnutzung, Wasser, Stickstoff/Phosphor, Entwaldung und Biodiversitätsverlust; die Nachfrageverschiebung zu pflanzenbetonter Kost ist der größte einzelne Umwelt-Hebel.

Zweitens: Auf der Detailebene sind exakte Prozentzahlen (14,5 %; GWP-Horizont) methodisch umstritten, und regionale Differenzierung ist Pflicht — extensive Weide auf Nicht-Ackerland und kleinbäuerliche Mischwirtschaft sind anders zu bewerten als bewässerte Futtermittel-CAFO-Ketten.

Drittens — der Vorbehalt bleibt hart und deckt sich mit dem ernährungsmedizinischen Befund: Die ökologische Kritik richtet sich gegen *industrielle* Tierproduktion in industriellen Gesellschaften, nicht gegen Subsistenz-Pastoralismus oder indigene Praxis; und die EAT-Lancet-Affordability-Grenze (~1,58 Mrd. Menschen) verbietet jede schlichte Universalisierung.

Track: FORSCHUNG · ORCID 0009-0003-9799-6747 · forschung@tschueller.com · CC BY 4.0
Stand: 2026-06-16 · Ergänzung zu Schicht 8 und Schicht 13; alle Kernquellen 2026-06 web-verifiziert.