

Biomasse, zukünftige Ernährungssysteme und die Rolle der Nutztiere

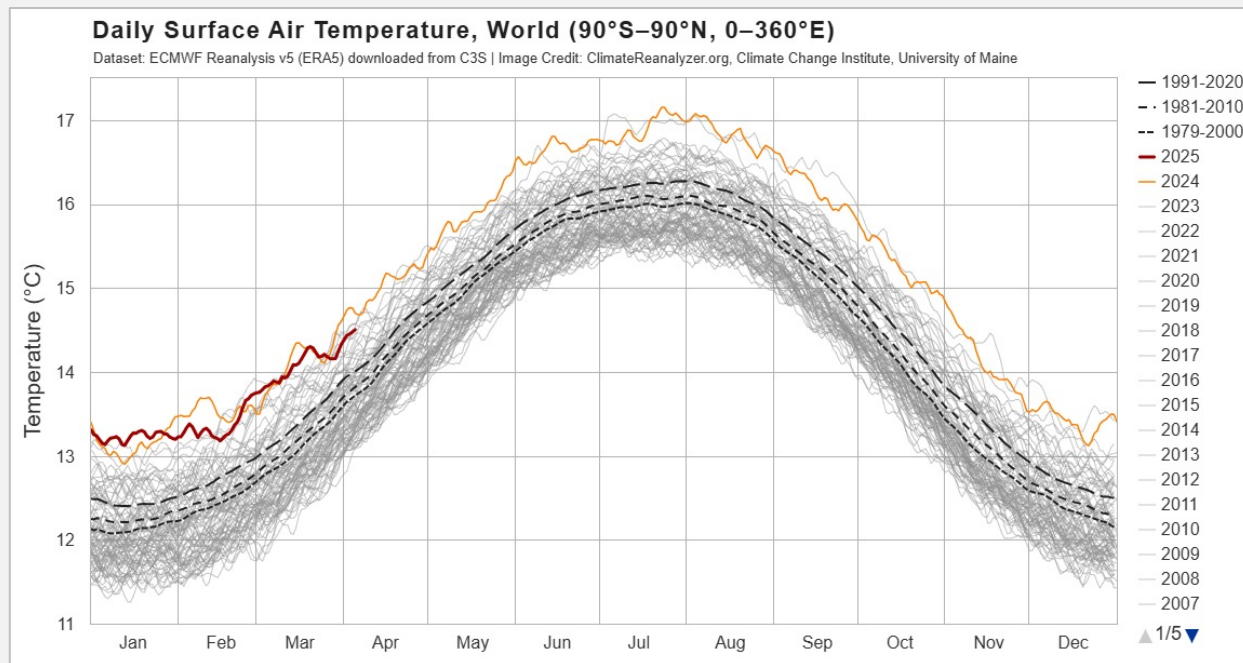


W. Windisch
TUM School of Life Sciences
Technische Universität München

Landwirtschaft und Nutztiere in der Zwickmühle



https://climatoreanalyzer.org/clim/sst_daily/ Abruf am 11.04.2025



Globale anthropogene CO₂eq:

30 % Ernährungssystem bis zum Konsum
20 % Landwirtschaft (Deutschland 8 %)
12 % Nutztiere (Deutschland 4 %)

Reduktionsziele für CO₂eq:

FAO: -50 % bis 2050

EU: -30 % (2030), net zero (2050)

Ernährungssicherung:

der Bedarf von Protein wächst dramatisch,
wir brauchen noch mehr Tierproduktion,
die „Alternativen“ reichen nicht

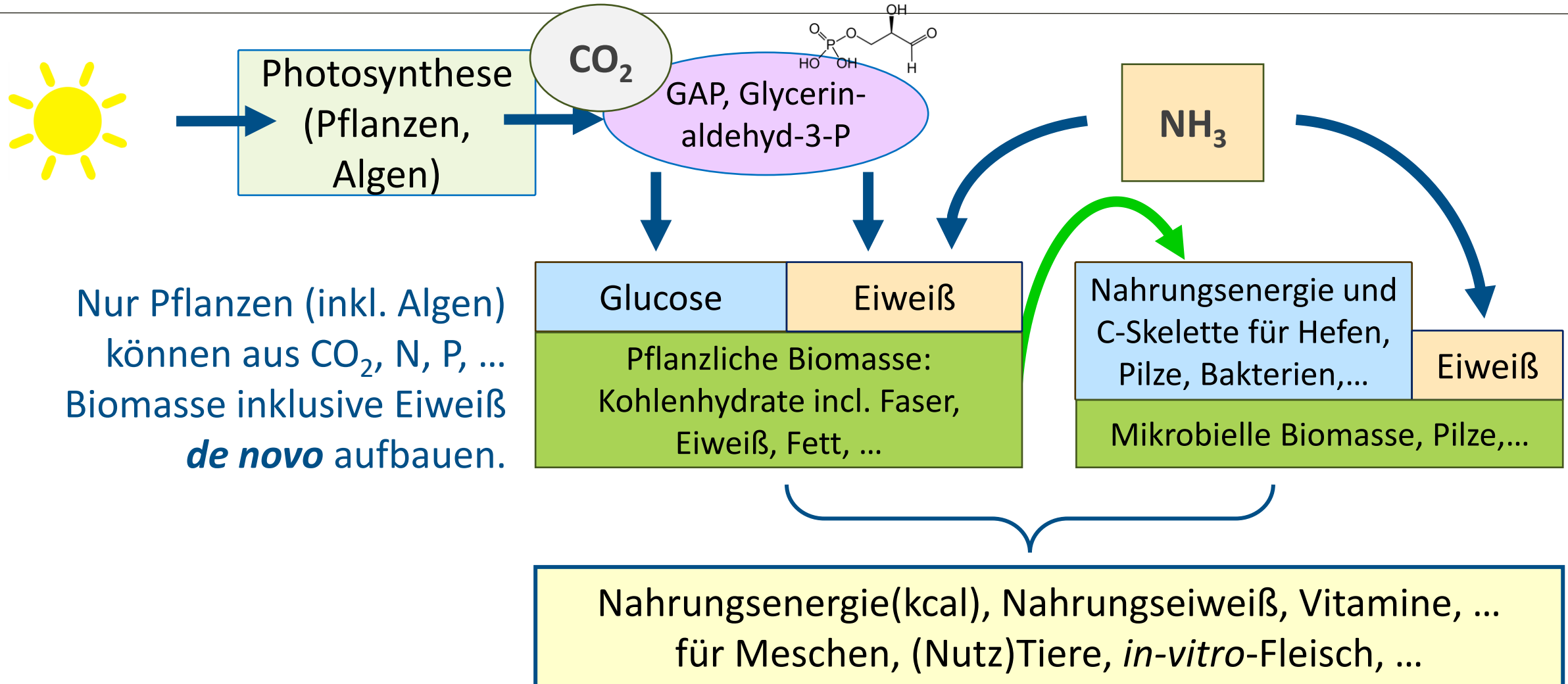
(FAO 2023)

1

Ernährungssysteme beruhen vollständig auf pflanzlicher Biomasse.

Diese wird knapp.

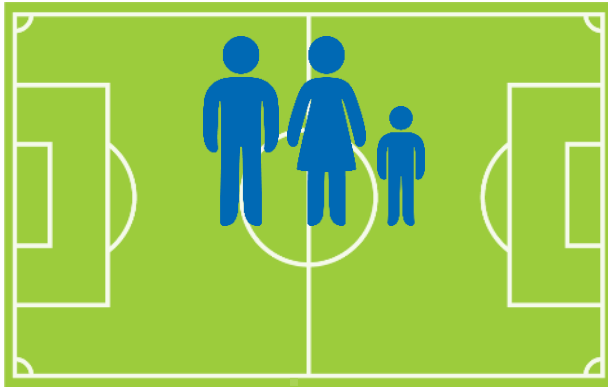
Alle Lebewesen außer Pflanzen müssen mit Biomasse gefüttert werden



Landwirtschaftliche Nutzflächen zur Erzeugung von pflanzlicher Biomasse werden knapp

Weltweit verfügbare Ackerfläche je Mensch

4 Mrd. Menschen
3.800 m² pro Person



1970

8 Mrd. Menschen
1.800 m² pro Person



2025

10 Mrd. Menschen
1.400 m² pro Person



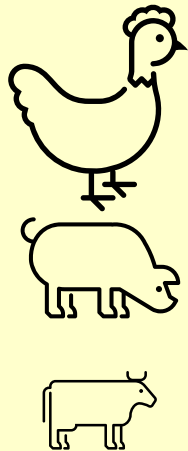
2050

Historische Überschüsse an Getreide, Mais, Soja... erzeugten das System der „*Tierischen Veredelung*“

Große Erfolge im Pflanzenbau erzeugten Überschüsse an Getreide, Mais, Soja, ... Die hohe Verfügbarkeit hochwertiger Futtermittel wurde durch Zugewinn an Nutzflächen (Entwaldung) weiter stabilisiert.

Lineare Veredelungswirtschaft

maximale Futterverwertung



1970

Auf 40 % der weltweiten Ackerfläche werden derzeit Futtermittel für Nutztiere angebaut (Mottet et al. 2018).

Nutztiere wurden Nahrungskonkurrenten des Menschen. Die Bereitstellung der Futtermittel ist mit hohen Emissionen und einem hohen Verbrauch an Ressourcen gekoppelt (Land, Wasser, Energie, ...).

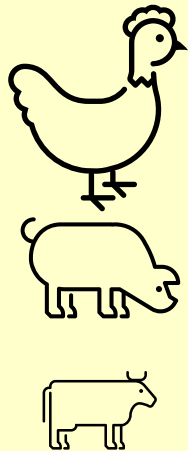
Ist das zukunftsfähig?

Biomasse: vom Überschuss zum knappen Gut

Große Erfolge im Pflanzenbau erzeugten Überschüsse an Getreide, Mais, Soja, ... Die hohe Verfügbarkeit hochwertiger Futtermittel wurde durch Zugewinn an Nutzflächen (Entwaldung) weiter stabilisiert.

Lineare Veredelungswirtschaft

maximale Futterverwertung



1970

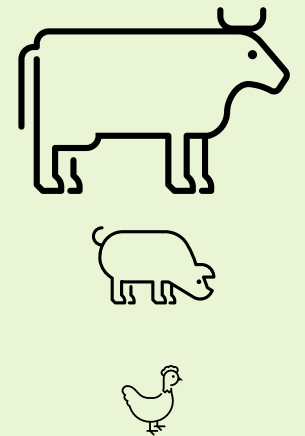
Das globale Bevölkerungswachstum verzehrt die Überschüsse aus dem Pflanzenbau. Nutzflächen und hochwertige Futtermittel werden knapp. Biomasse wird zu einer wertvollen Ressource.

Kreislaufwirtschaft

minimale Nahrungskonkurrenz



2050



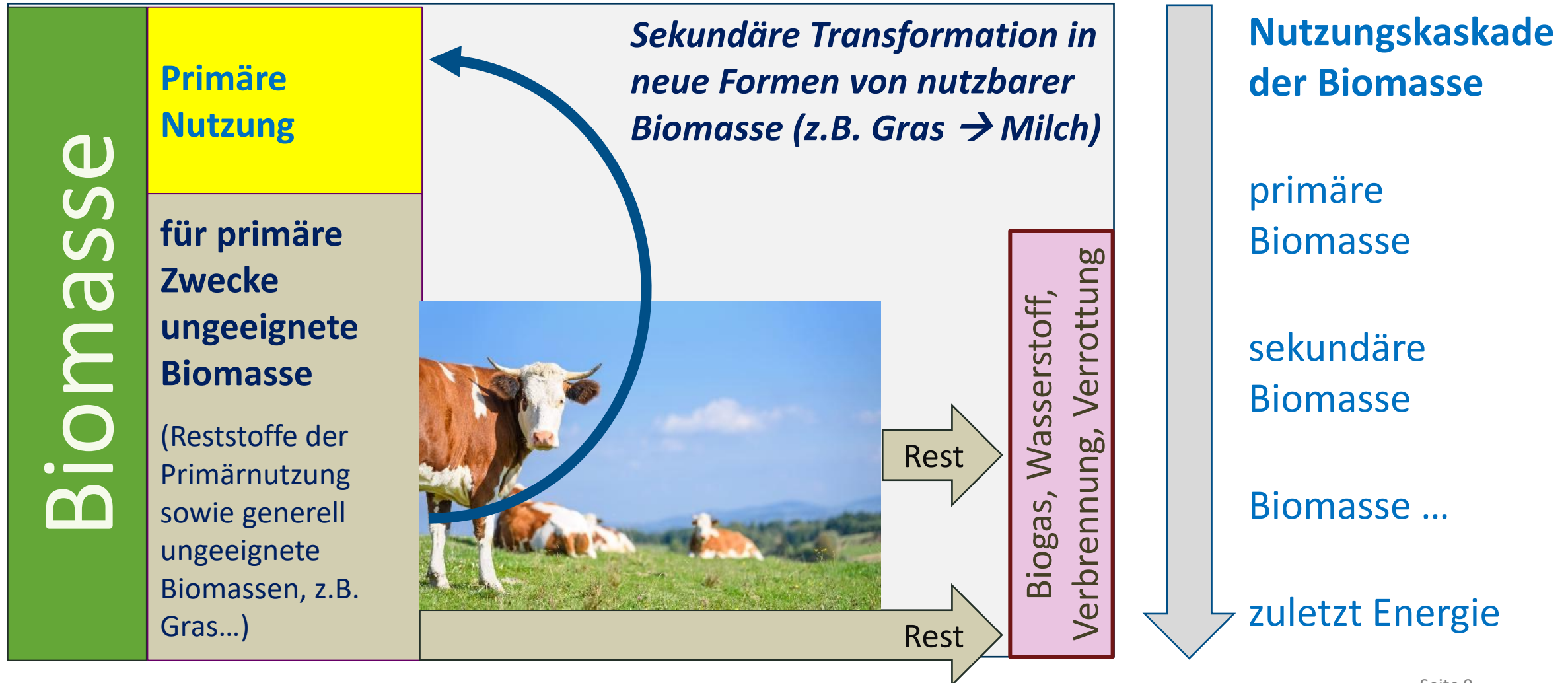
2

Wir müssen Prioritäten setzen!

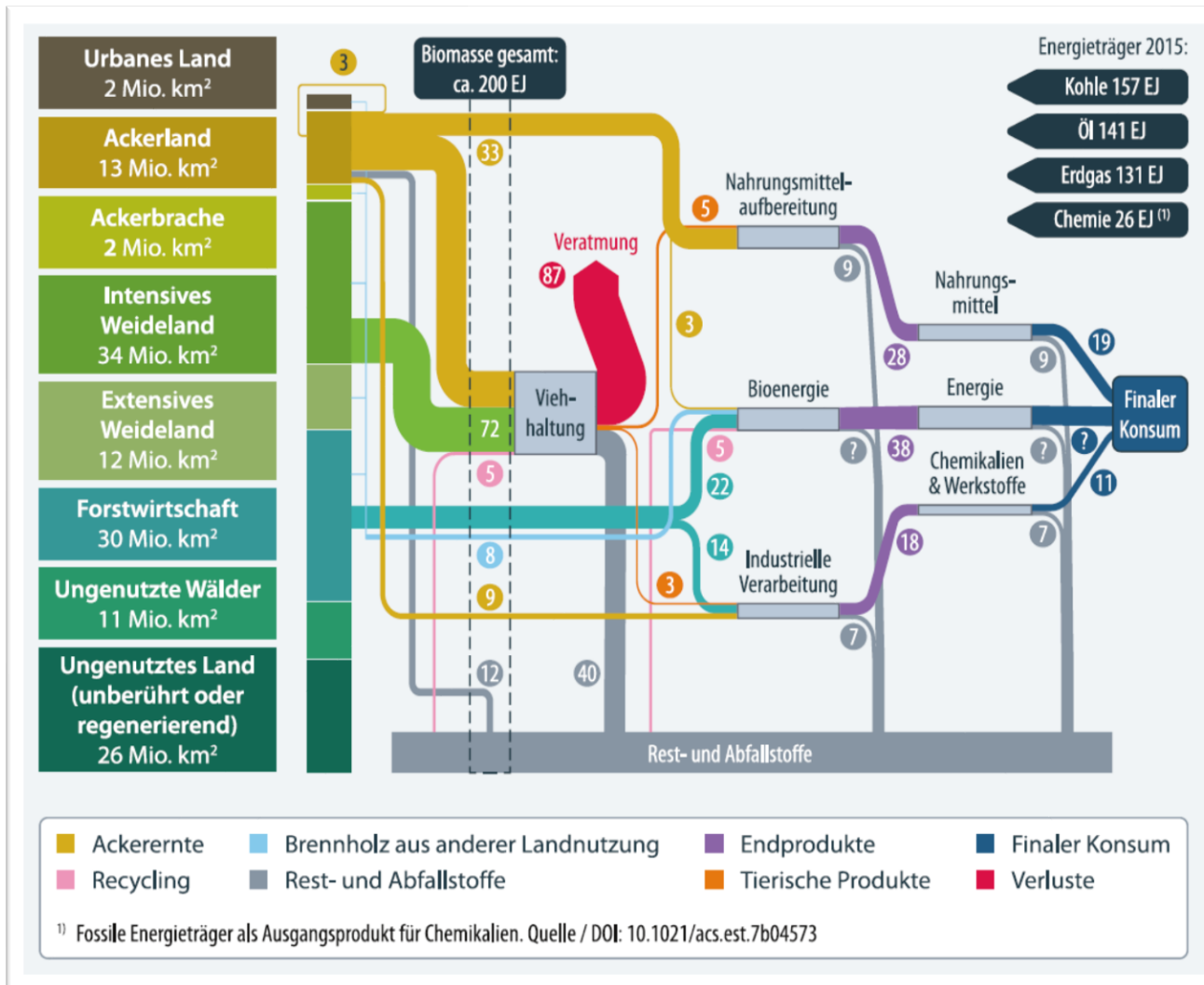
Die Nutzungskaskade der Biomasse lautet

Teller > Trog > Tank

Das Alleinstellungsmerkmal der Biomasse ist ihre hohe Funktionalität (Nahrung, techn. Funktionsstoffe)



Weltweit nutzbare Biomasse, ausgedrückt als Brennwert (Exajoule/Jahr) (10^{15} J/a) (aus Thrän et al. 2020)

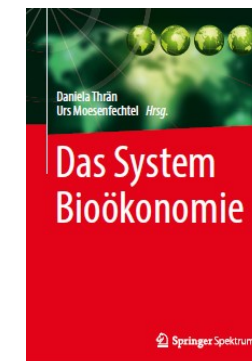


Brennwerte in EJ/Jahr

Biomasse: 200

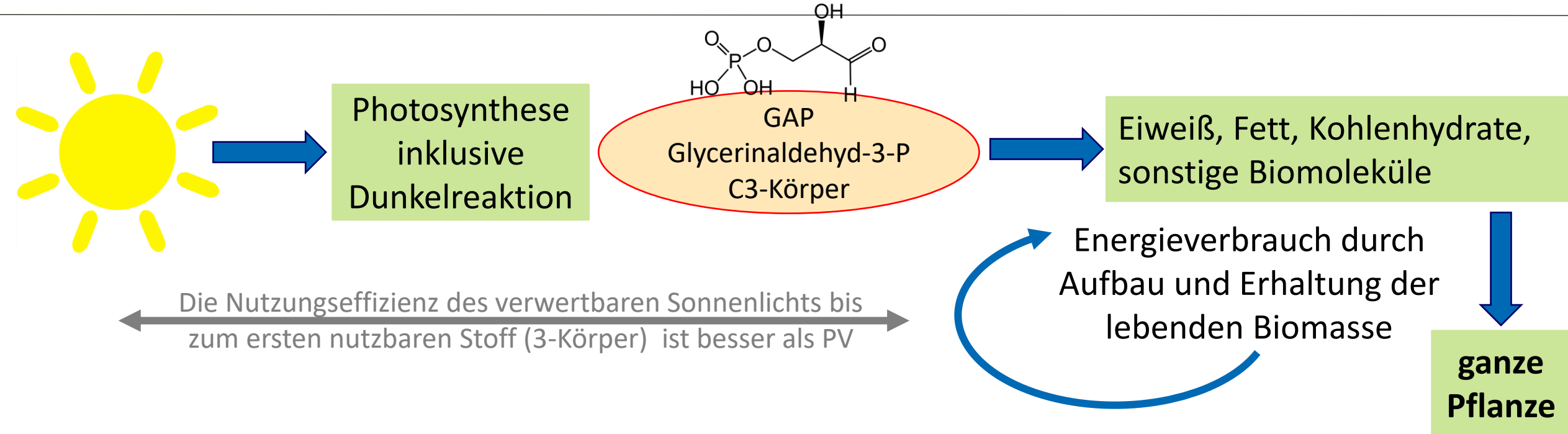
Fossile Energiequellen: 455

Die global geerntete Biomasse könnte nur die Hälfte des aktuellen Bedarfs an Energie ersetzen.



Thrän, D., Moesenfechtel, U.
(Hrsg; 2020) Das System
Bioökonomie. Springer
Spektrum, Springer-Verlag
GmbH Deutschland, 390 S.

Die Energiegewinnung über Biomasse ist ineffizient

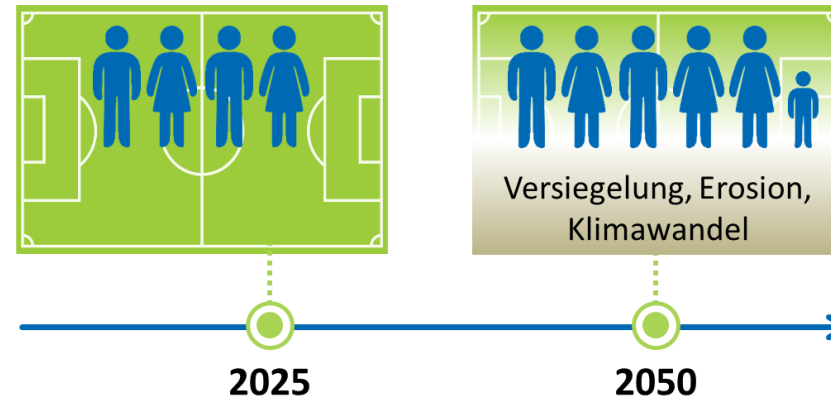


**Der Brennwert der geernteten Biomasse speichert im
Mittel nur 1 - 3 % der eingestrahlten Sonnenenergie.**



Par Arnaldo Zitti (user Homer) — Photographie personnelle, CC BY 2.5,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1223670>

Biomasse wird knapp, in Zukunft müssen wir priorisieren!



Teller: Die Gewinnung von pflanzlicher Nahrung hat Vorrang.

Trog: Nutztiere bekommen nur noch nicht-essbare Biomasse.

Tank: Am Ende der Biomasse-Nutzung steht die Energiegewinnung.

3 **Pflanzenbasierte Nahrung (Teller) erzeugt ein Vielfaches an nicht-essbarer Biomasse (Trog)**

Ackerland liefert überwiegend nicht-essbare Biomasse

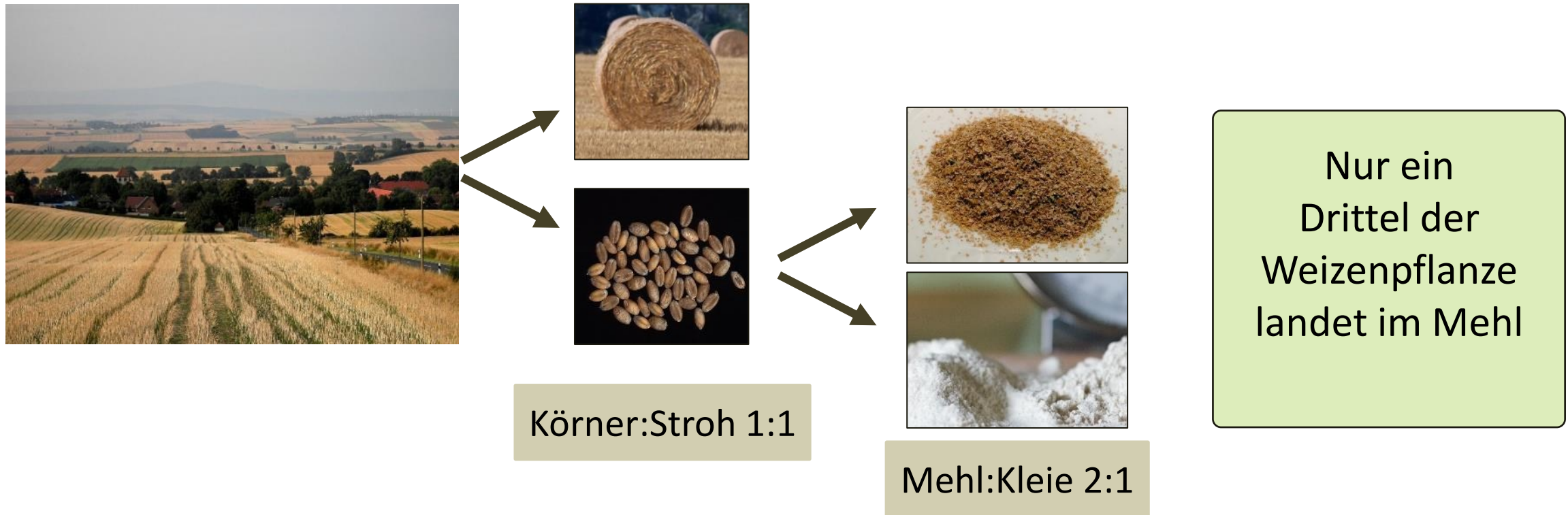


Foto oben links von Elmschrat bearbeitet von VH-Halle - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11032439>

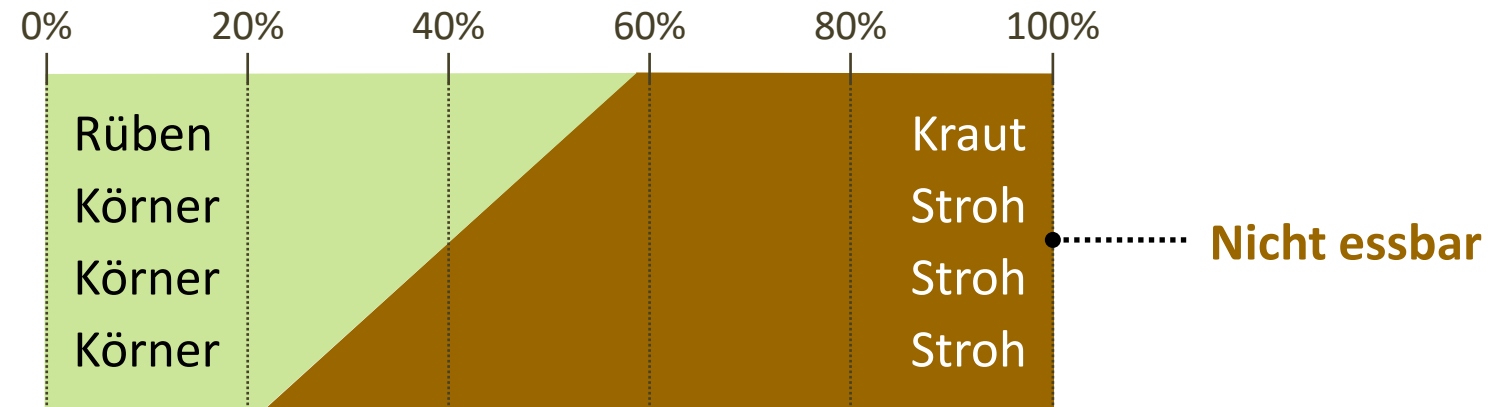
Bild Weizenkörner: Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2226027>

Bild Mehl: Von Mudd1 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19147085>

Bild Kleie: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=545348>

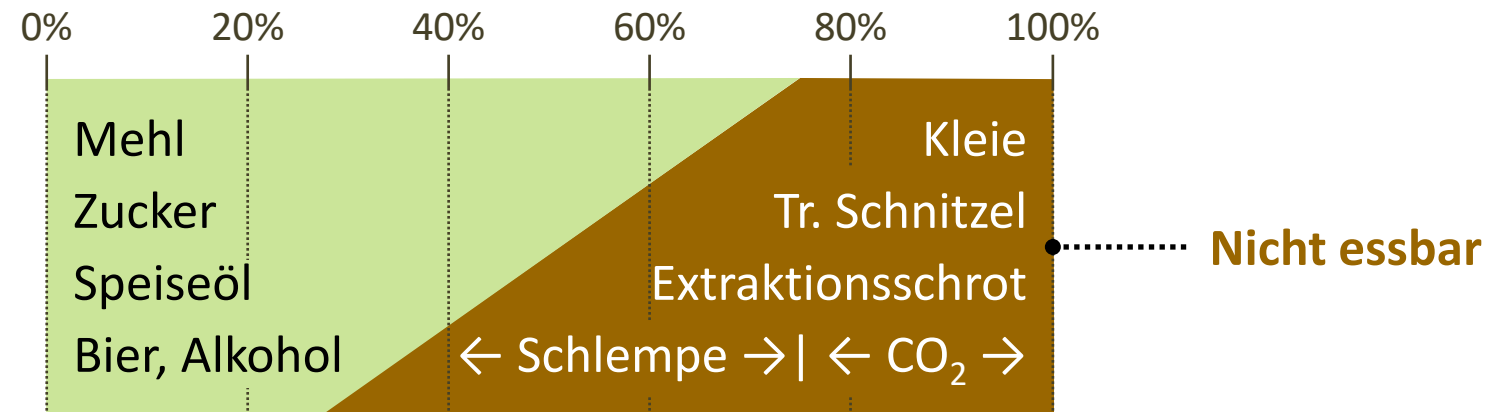
Koppelprodukte & Nebenprodukte: große Mengen an nicht essbarer Biomasse

Zuckerrüben
Getreide, Mais, Soja
Raps, Bohnen, Erbsen
Sonnenblumen



Verarbeitung

Müllerei (Getreide)
Zuckerfabrikation
Ölmühle (Raps, Soja, ...)
Brauerei, Brennerei



Quelle: Daten aus Vorndran et al. (2024)

Grünland ist keine Konkurrenz zum Acker und erzeugt ausschließlich nicht-essbare Biomasse



Foto: ARGE Heumilch, eigenes Werk, mit freundlicher Genehmigung)

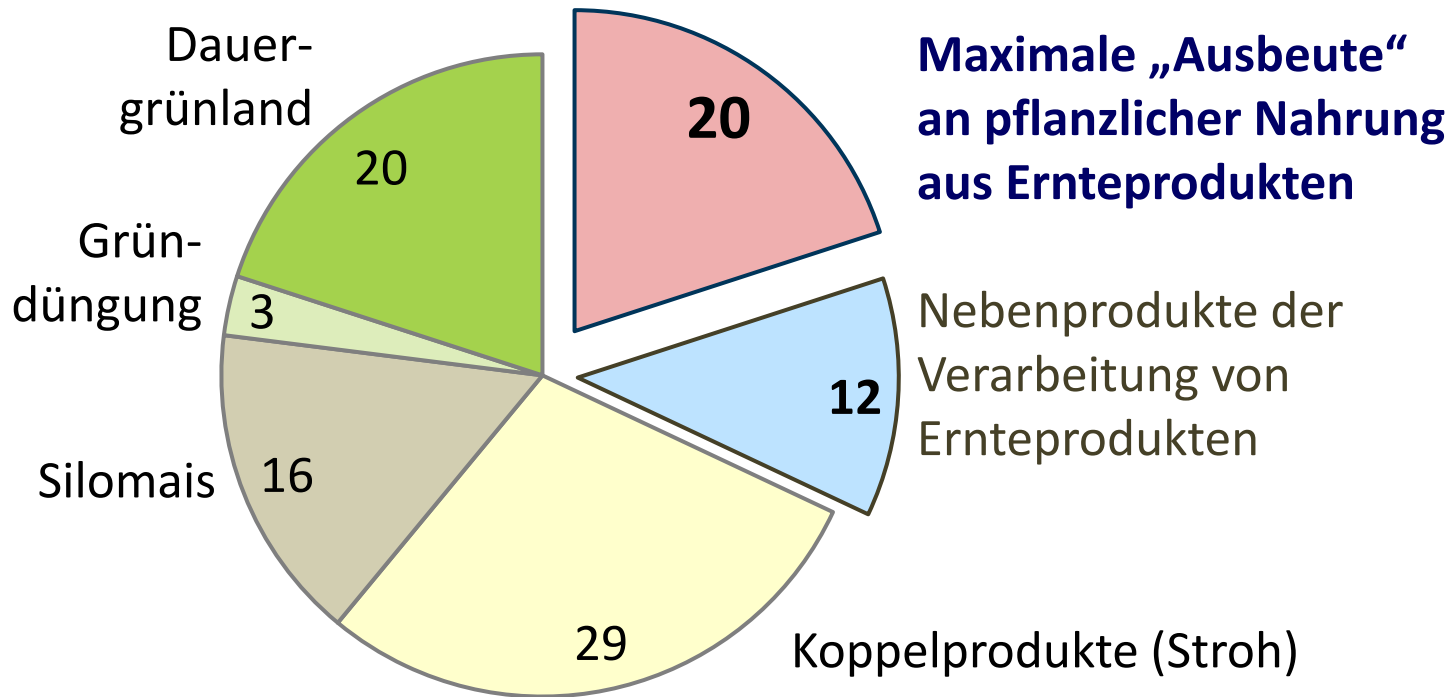
Absolutes Grünland ist nicht ackerfähig:
(steil, uneben, steinig, nass, trocken, kalt, abgelegen, Überschwemmung...)

Anteil an der gesamten lw. Nutzfläche:

weltweit	etwa 70 %
Alpenraum	> 50 %
Deutschland	30 %

Die Landwirtschaft erzeugt unvermeidlich große Mengen an nicht-essbarer Biomasse

Beispiel Deutschland: Verteilung der insgesamt geernteten Biomasse (120 Mio. Tonnen TM/Jahr) (%)



1 kg pflanzliche Nahrung verursacht mindestens 4 kg nicht-essbare Biomasse.

Noch mehr nicht-essbare Biomasse unter praktischen Verhältnissen:

- **Unvermeidbares Futtergetreide**
- **Fruchtfolge und Gründüngung (v.a. in der Bio-Landwirtschaft)**

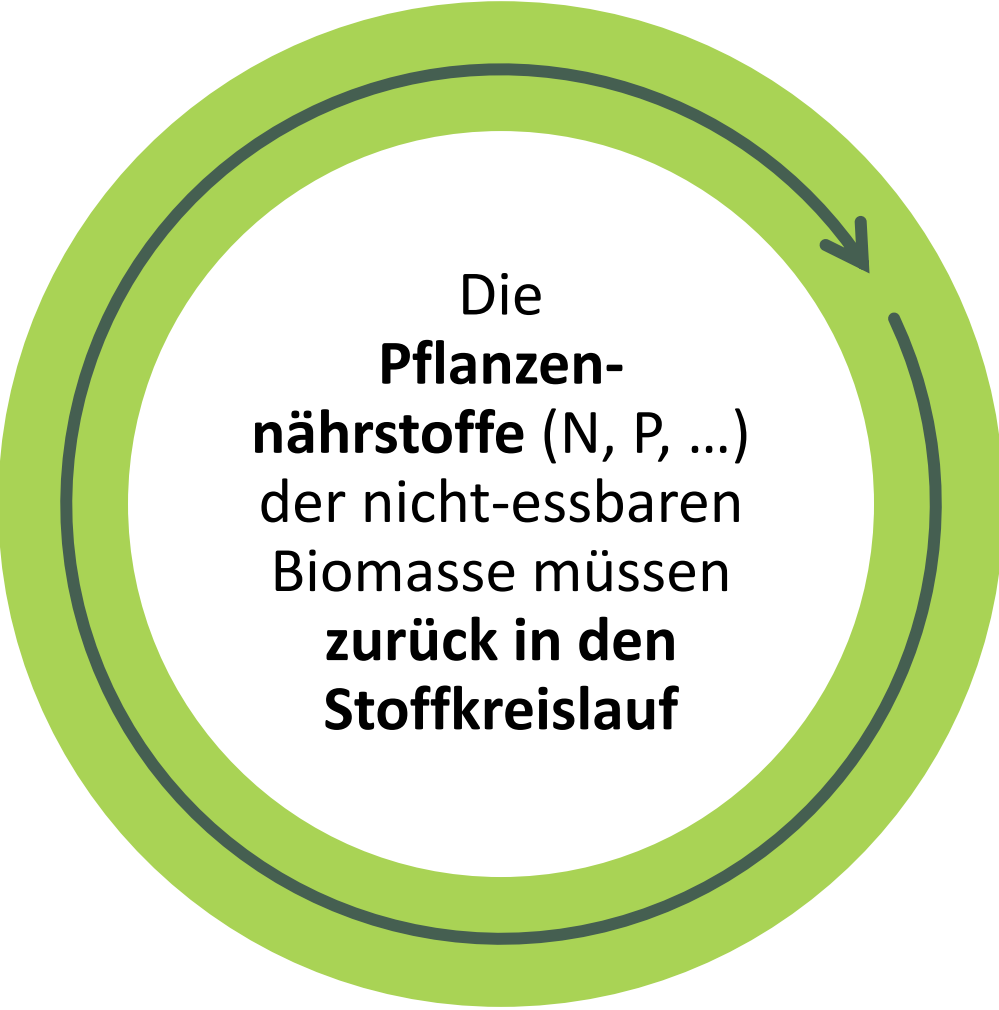
Daten aus Vorndran et al. (2024)

4

Kreislaufwirtschaft mit Nutztieren

= (wertvoller Dünger) + (zusätzliche Nahrung)

Biogasanlagen und Nutztiere sichern gleichermaßen eine hohe vegane Ernte...



Die
**Pflanzen-
nährstoffe** (N, P, ...)
der nicht-essbaren
Biomasse müssen
**zurück in den
Stoffkreislauf**

- **Verrotten lassen, vegane Landwirtschaft?**
Ineffizient, unkontrollierter Stoffabbau,
geringe Düngerwirkung,
geringe Ernte an veganer Nahrung
- **Biogas, Gärreste als Dünger?**
Effizient, gezielt ausbringbar,
hohe Düngerwirkung,
hohe Ernte an veganer Nahrung
- **Tierfutter, Mist als Dünger?**
Effizient, gezielt ausbringbar,
hohe Düngerwirkung,
hohe Ernte an veganer Nahrung

Relation der
Erntemenge:

1

2

2

(Bryzinski 2020)

... aber nur die Nutztiere liefern zusätzliche Nahrung aus nicht-essbarer Biomasse



essbar

z.B. Brot
100 g Eiweiß
3000 kcal

Verhältnis mind. 1:4



Nicht essbar



mind. 50% mehr Nahrung
aus derselben Nutzfläche
ohne Nahrungskonkurrenz

z.B. 3 kg Kuhmilch
oder 0,5 kg Fleisch
100 g Eiweiß
1500 kcal



5

KLIMA-KILLER KUH

unser lokales CH₄-Problem wird überbewertet

CO₂-Äquivalente nach GWP100 simplifizieren CH₄

CO₂-Fußabdruck nach GWP100 aus den Emissionen: $\text{CO}_2\text{eq} = 1 \times \text{CO}_2 + 28 \times \text{CH}_4 + 265 \times \text{N}_2\text{O}$

CO₂ langlebig ($t_{1/2} > 1000$ Jahre),
akkumuliert in der Atmosphäre.

**Jede zusätzliche Emission ergibt eine
dauerhafte Erwärmung der Atmosphäre.**

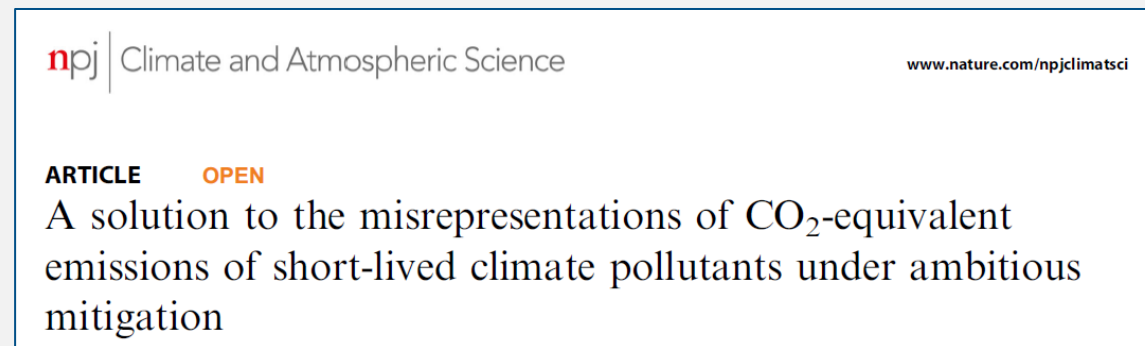
CH₄ kurzlebig ($t_{1/2} = 12$ Jahre), Emission und Abbau münden
rasch in ein atmosphärisches Gleichgewicht.

konstante Emissionsrate: Gleichgewicht, keine Erwärmung
sinkende Emissionsrate: Abkühlung
steigende Emissionsrate: kurzfristig starke Erwärmung

(Neu et al. 2022)



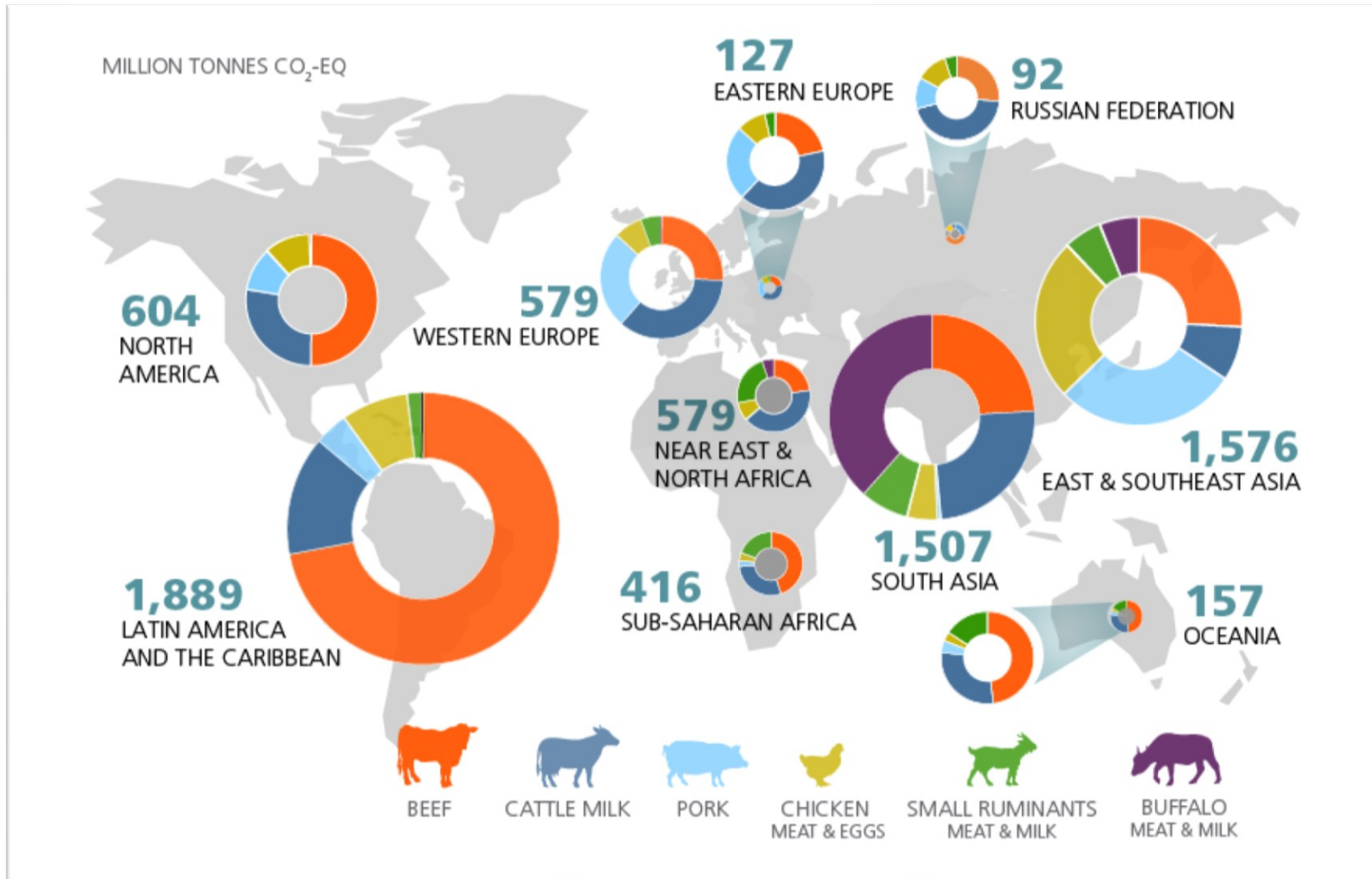
(Allen et al. 2018)



(Guggenberger et al. 2022)

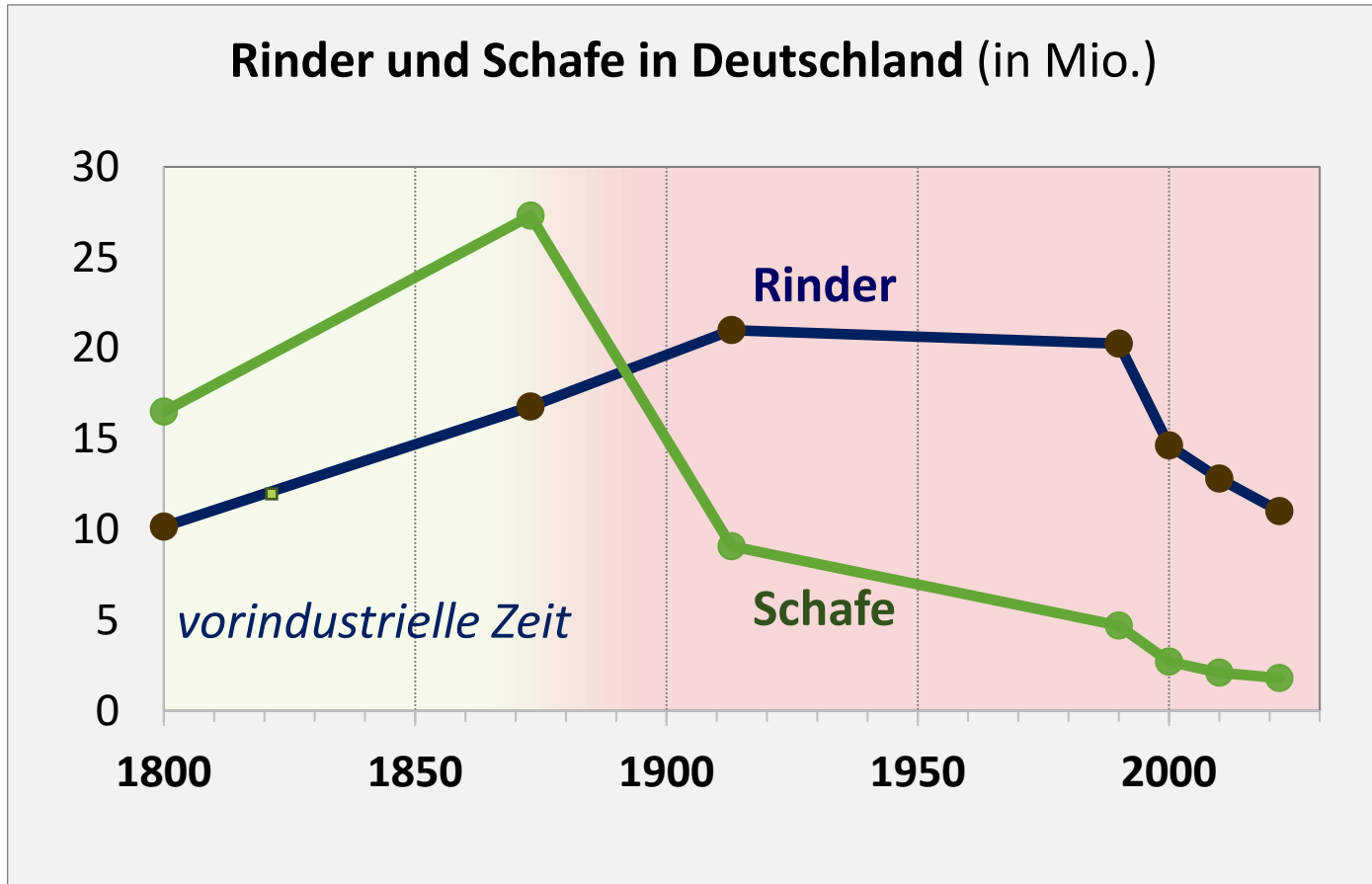


Globale CO₂-Äquivalente von Nutztieren (FAO GLEAM 2022)



Die Problemzonen der CH₄-Emissionen durch Wiederkäuer liegen in Südasien und Südamerika.

Deutschland: CH_4 -mission completed?



Quelle: Daten aus Schulze, 2014; bmel-statistik.de; Kuhla and Viereck, 2022

- Weniger Wiederkäuer als im Jahre 1800.
- Wiederkäuer emittieren weniger CH_4 als zu Beginn der Industrialisierung (Kuhla and Viereck, 2022).

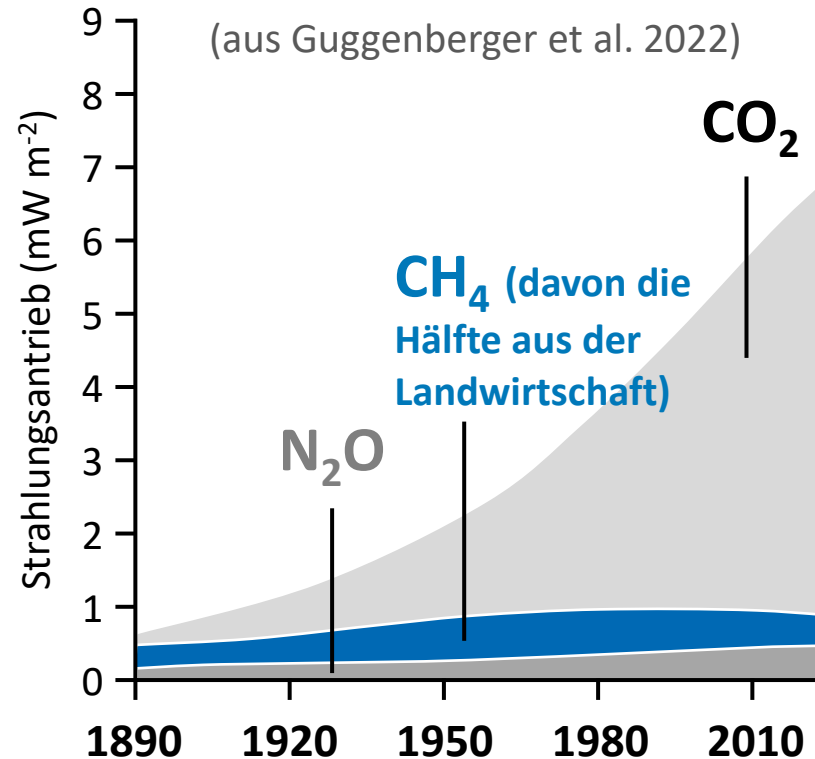
z.B. Österreich: berücksichtigt man die Dynamik von Tierzahlen und gekoppelter CH_4 -Emission, fällt der CO_2 -Fußabdruck von Milch und Rindfleisch auf unter die Hälfte des Standardwerts nach GWP100 (Hörtenhuber et al. 2022)

Teller > Trog > Tank

minimiert die CH₄-Bürde der Wiederkäuer

Österreich: kumulative Klimawirkung nationaler Emissionen

(aus Guggenberger et al. 2022)



Maßnahmen zum Stopp der globalen Erwärmung:

- CO₂-Emissionen maximal drosseln.
- CO₂-Senken fördern: Grünland > Wald >> Ackerland.
- Wiederkäuer auf das Maß der Kreislaufwirtschaft reduzieren und auf diesem Niveau die Produktion konstant halten.

→ CO₂ akkumuliert und verursacht den Hauptteil der Erwärmung.

→ CH₄ akkumuliert nicht. Die Abschaffung der Wiederkäuer hätte nur eine geringe Abkühlung zur Folge.

6

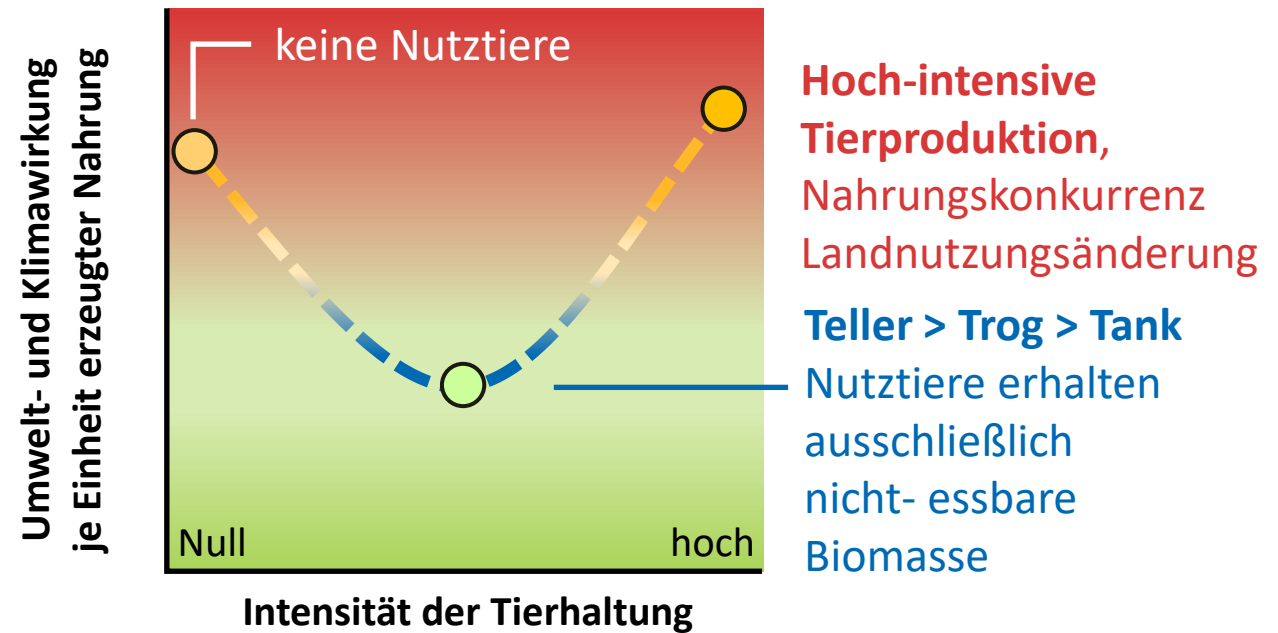
Zu viel als auch zu wenig Nutztiere sind ein Schaden für Umwelt und Klima

Das Minimum der Umwelt- und Klimawirkung der Nahrungsproduktion benötigt Nutztiere

Die nicht-essbare Biomasse zerfällt und gibt dabei weitgehend dieselben Emissionen ab, egal ob durch Verrottung, Biogas, oder über Nutztiere. (CH_4 hat keine quantitative Bedeutung)

Der Verzicht auf die Verfütterung an Nutztiere vernichtet die dabei erzeugten Lebensmittel, ohne die Umwelt und das Klima nennenswert zu entlasten.

Ohne Nutztiere verbraucht die Ernährung von einem Menschen mehr Land, Wasser, Energie, Dünger, Pflanzenschutz, ...
→ höhere Emissionen.



↓
Teller > Trog > Tank
Kreislaufwirtschaft der nicht-essbaren Biomasse

Das Minimum der Umwelt- und Klimawirkung der Nahrungsproduktion benötigt Nutztiere

(Van Zanten et al. 2018)

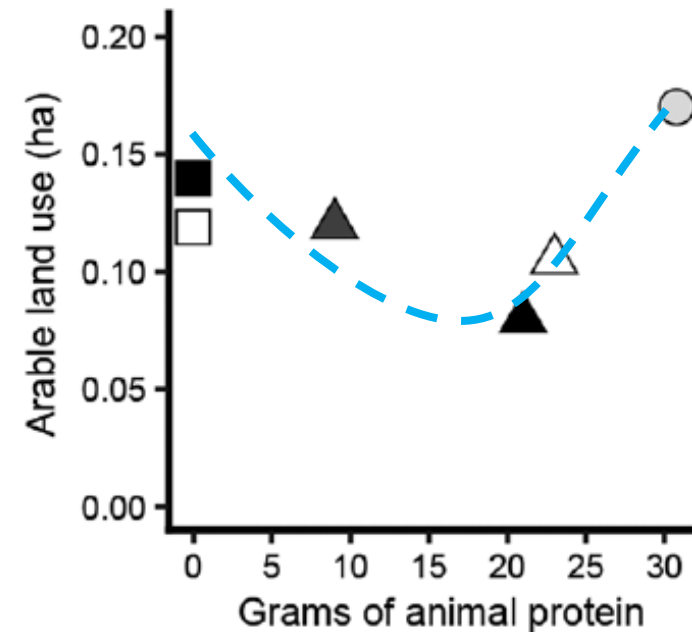
Received: 18 December 2018 | Revised: 2 April 2018 | Accepted: 30 April 2018
DOI: 10.1111/gcb.14321

RESEARCH REVIEW

WILEY Global

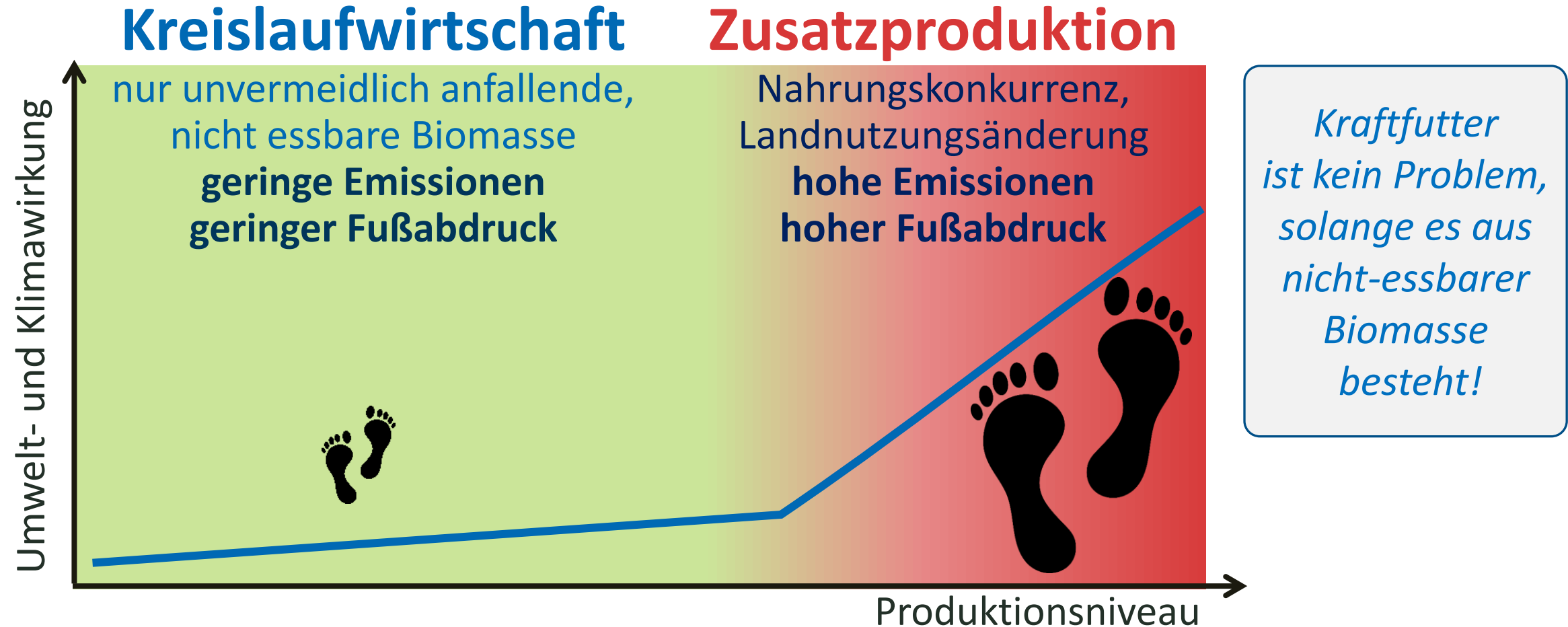
Defining a land boundary for sustainable livestock consumption

Hannah H. E. Van Zanten¹  | Mario Herrero² | Ollie Van Hal¹ | Elin Rööös³
Adrian Muller^{4,5} | Tara Garnett⁶ | Pierre J. Gerber^{1,7} | Christian Schader⁴ |
Imke J. M. De Boer¹

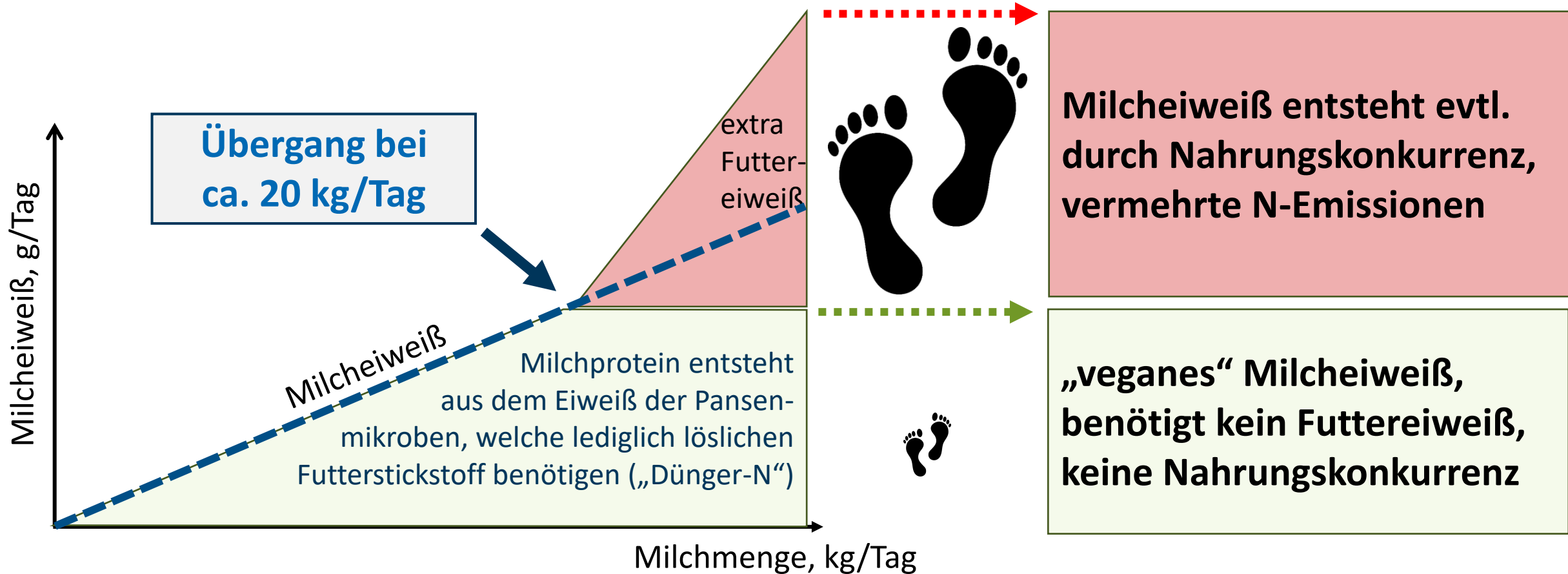


Teller > Trog > Tank

Die Fußabdrücke tierischer Lebensmittel sind hoch variabel



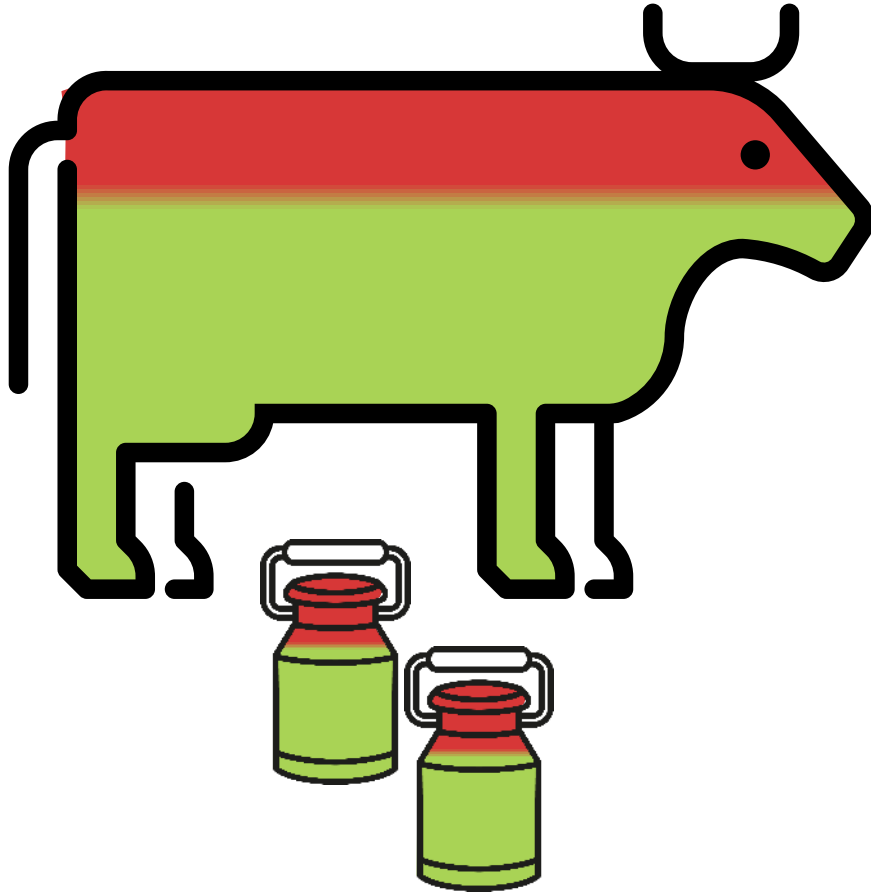
z.B. Milchkühe: hohe Fußabdrücke entstehen erst bei höherer Leistung



7

Effizienz im Korsett der planetaren Grenzen bestimmt die zukünftige Tierproduktion

Teller > Trog > Tank entlastet die Umwelt, limitiert aber die Produktivität



Verzicht auf Nahrungskonkurrenz und Landnutzungsänderung (*Teller > Trog > Tank*)

- Deutlich geringere Emissionen
- Limitierung der Produktion durch geringere Futtermengen und niedrigere Qualitäten

Wieviel von der aktuellen Produktion liefert derzeit die nicht-essbare Biomasse?

ca. 2/3 von Milch und Rindfleisch

ca. 1/2 von Schweinefleisch

ca. 1/10 von Geflügelprodukten

(Baur und Flückiger 2018, De Luca & Müller 2024)

Die nicht-essbare Biomasse muss effizient verwertet werden

- 1. Futterwirtschaft optimieren, (Grob)Futterqualität erhöhen**
(Technologie & Pflanzenzüchtung)
- 2. Precision feeding, Futtermittelzusatzstoffe**
- 3. Minimierung von unproduktivem Futterverzehr im System**
 - Tiergesundheit, Tierwohl
 - robuste Jungtieraufzucht, hohe Lebensleistung
- 4. Begrenzung des Leistungsniveaus am Potenzial des Futters**
(aber innerhalb des Angebots an nicht-essbarer Biomasse möglichst hohe Leistung)



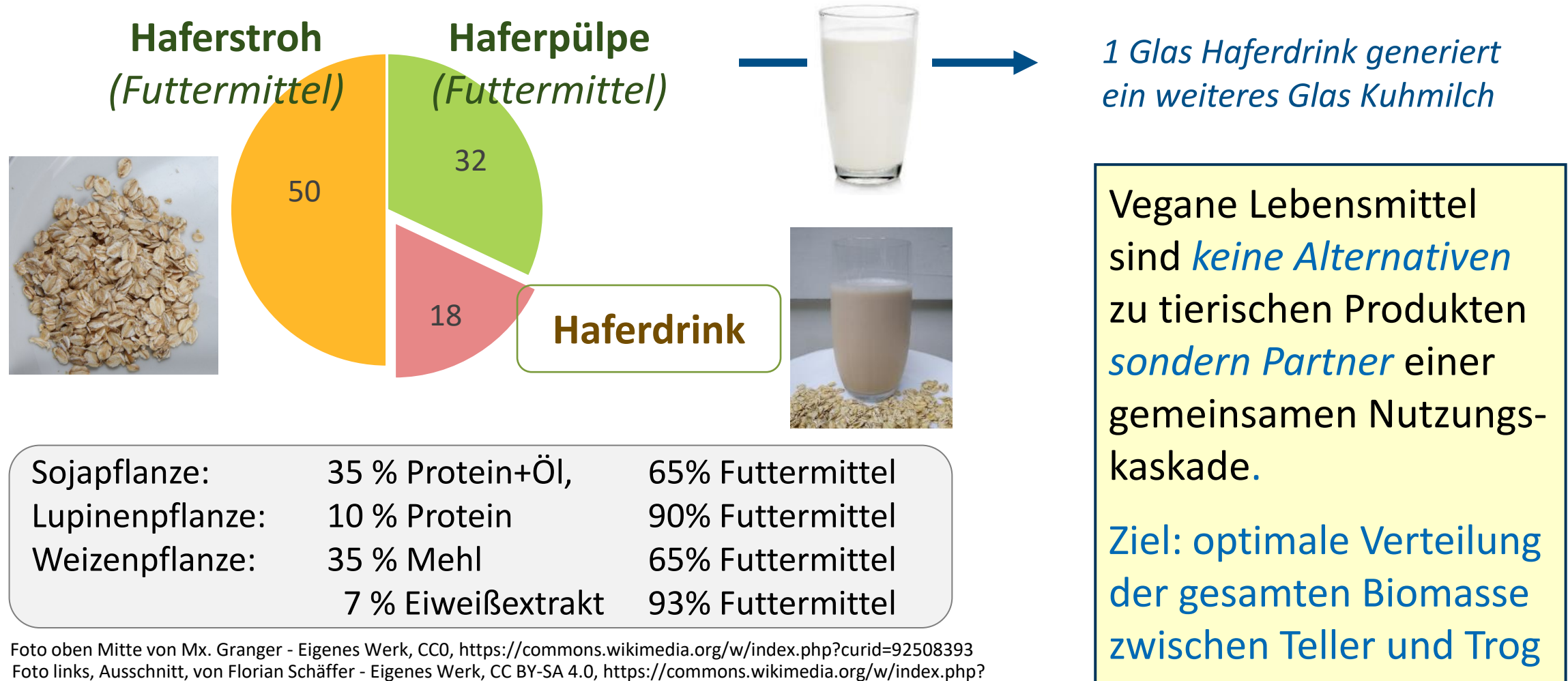
Fotos: ARGE Heumilch, eigenes Werk, mit freundlicher Genehmigung

8

**Das Prinzip *Teller > Trog > Tank*
gilt auch für vegane Alternativen**

Teller > Trog > Tank

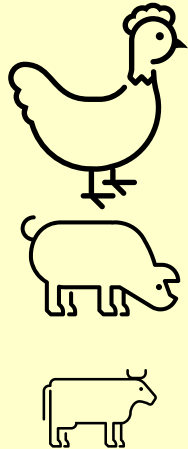
Vegane Lebensmittel hinterlassen stets Futtermittel



In-vitro Fleisch ist ein einzelliges Nutztier, welches das Konzept der „*tierischen Veredelung*“ maximiert

Große Erfolge im Pflanzenbau erzeugten Überschüsse an Getreide, Mais, Soja, ... Die hohe Verfügbarkeit hochwertiger Futtermittel wurde durch Zugewinn an Nutzflächen (Entwaldung) weiter stabilisiert.

Lineare Veredelungswirtschaft maximale Futterverwertung



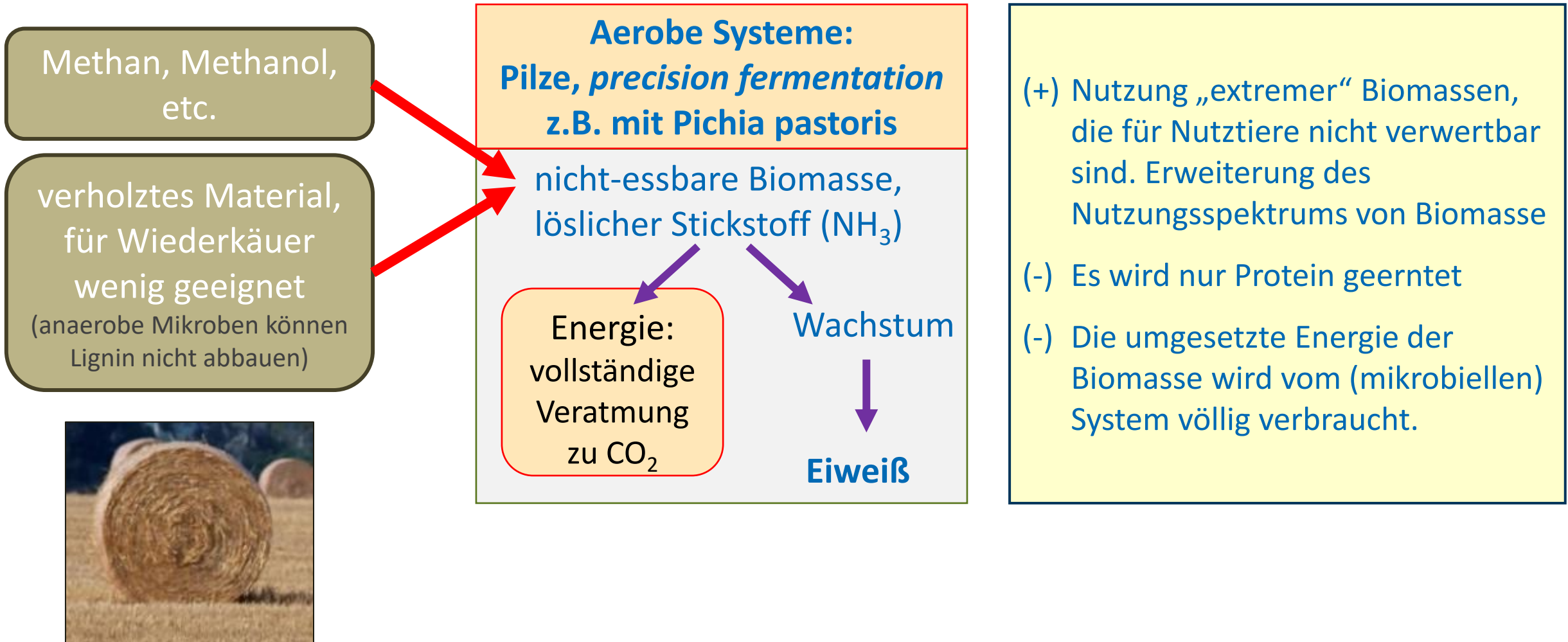
1970



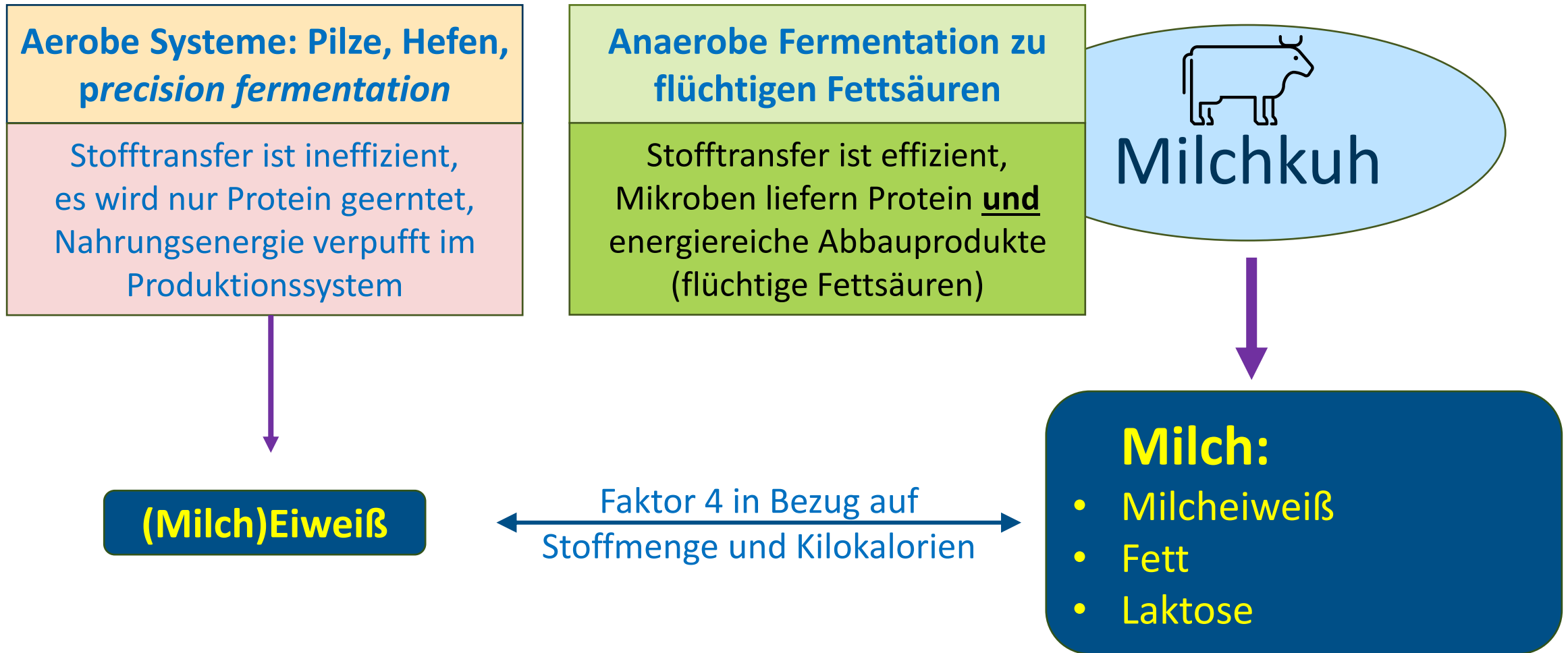
Foto: By World Economic Forum
- File:The Meat Revolution Mark
Post.webm (7:48), CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65595200>

- Muskelzellen benötigen reine Nährstoffe (Glukose, Aminosäuren, ...), die aufwändig aus Getreide, Mais, Soja,... hergestellt werden.
- *In-vitro*-Fleisch ist der größtmögliche Nahrungskonkurrent des Menschen.
- Die Stofftransformation ist nicht effizienter als Mastgeflügel (dem System fehlen Leber und Niere).
- Das erforderliche upscaling funktioniert nicht.
- *In-vitro*-“Fleisch“ ist noch kein Fleisch!

Aerobe (mikrobielle) Systeme können das Spektrum der Nutzung von nicht-essbare Biomasse erweitern



Anaerobe Systeme in Kopplung mit Wiederkäuern zeigen die größte Effizienz im Stofftransfer



9

Ausblick

Eine umwelt- und klimafreundliche Landwirtschaft braucht Nutztiere in der Balance der Kreislaufwirtschaft

Abkehr von

Hin zu

Limitierung

Effekt für den
Konsumenten

Reaktion

Energiewende

fossiler Energie

Regenerierbare Energie:
Sonne, Wind,...

Menge, Speicherung

geringeres Angebot,
höherer Preis

Quellen erschließen,
Wirkungsgrade
maximieren

Nutztierwende

Nahrungskonkurrenz,
Landnutzungsänderung

Regenerierbares Futter:
nicht-essbare Biomasse

Menge, Futterwert

weniger Milch, Fleisch,
Eier, ..., höherer Preis

Futterwirtschaft und
Futtereffizienz
maximieren

