Technische Universität München

Kühe, Grünland, Hafer und das Klima

Zusammenhänge, Narrative und wirksame Strategien

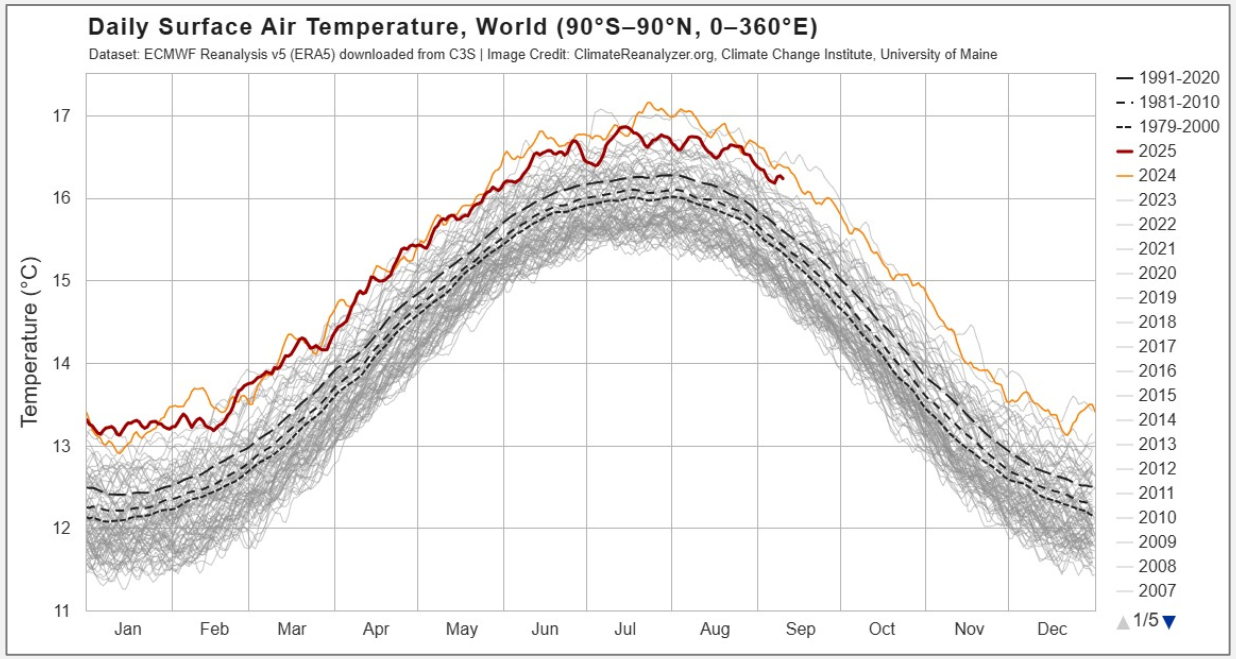
W. Windisch
TUM School of Life Sciences
Technische Universität München

Landwirtschaft und Nutztiere in der Zwickmühle

Technische Universität München

Climate Reanalyzer
Climate Change Institute | University of Maine

https://climatereanalyzer.org/clim/sst_daily/ Abruf am 16.09.2025



Globale anthropogene CO_2eq:

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

Reduktionsziele für CO_2eq:

FAO: -50 % bis 2050
EU: -30 % (2030), net zero (2050)

Ernährungssicherung:

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

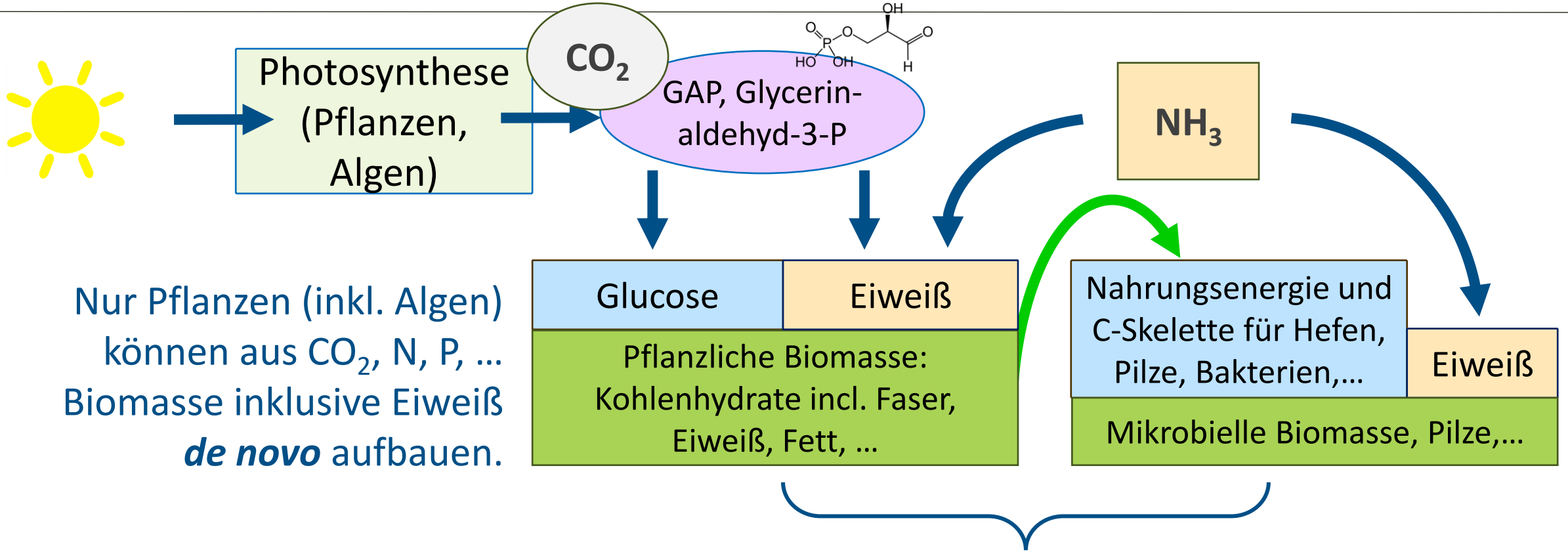
(FAO 2023)

Technische Universität München

1 Die Gewinnung von pflanzlicher Biomasse stößt an planetare Grenzen. In Zukunft müssen wir priorisieren: *Teller > Trog > Tank*

Alle Lebewesen außer Pflanzen müssen mit Biomasse gefüttert werden

Technische Universität München



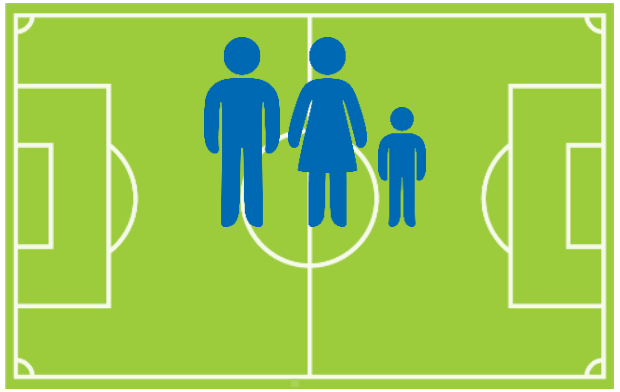
Nur Pflanzen (inkl. Algen) können aus CO_2, N, P, … Biomasse inklusive Eiweiß ***de novo*** aufbauen.

Landwirtschaftliche Nutzflächen zur Erzeugung von pflanzlicher Biomasse werden knapp

Technische Universität München

Weltweit verfügbare Ackerfläche je Mensch

4 Mrd. Menschen
3.800 m^2 pro Person



8 Mrd. Menschen
1.800 m^2 pro Person

10 Mrd. Menschen
1.400 m^2 pro Person

1970 **2025** **2050**

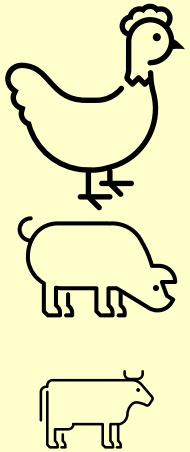
Historische Überschüsse an Getreide, Mais, Soja… erzeugten das System der *„Tierischen Veredelung“*

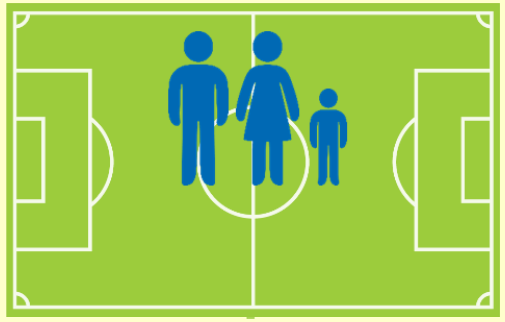
Technische Universität München

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 wird derzeit Nutztierfutter angebaut (Mottet et al. 2018).

Die Ernährung Deutschlands verbraucht weit mehr landwirtschaftliche Nutzfläche als im nationalen Besitz steht (exportbereinigt ca. 70% zusätzlich).

Ist das noch zeitgemäß?

2025

Biomasse: vom Überschuss zum knappen Gut

Technische Universität München

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

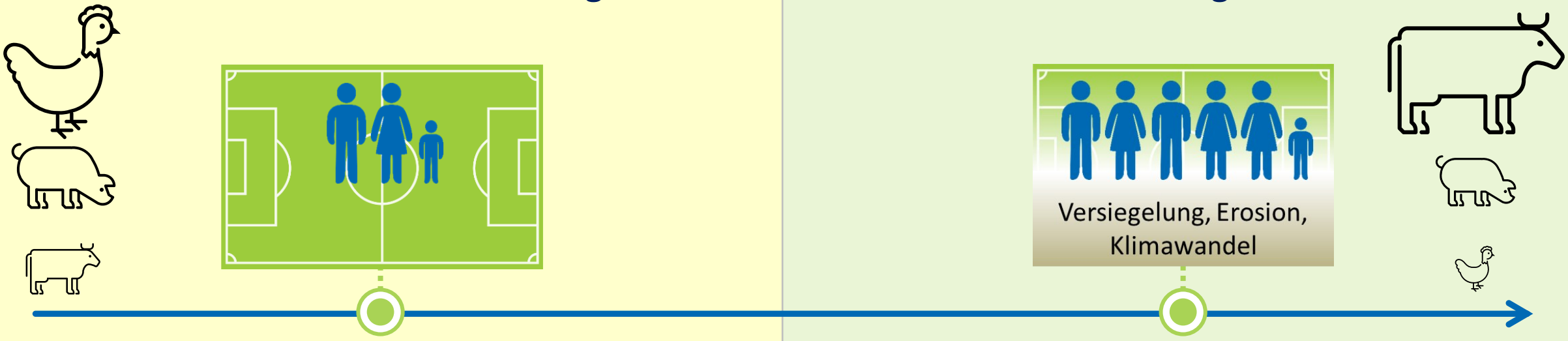
Lineare Veredelungswirtschaft

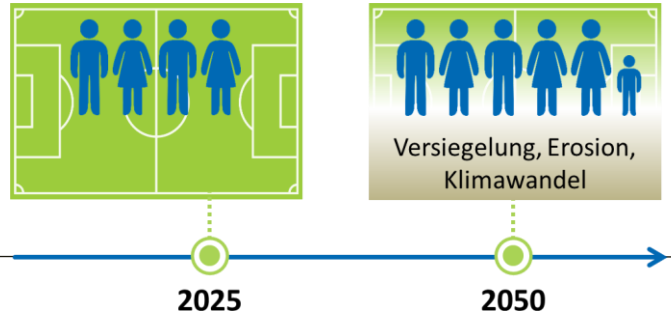
maximale Futterverwertung

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

Kreislaufwirtschaft

minimale Nahrungskonkurrenz





Priorisierung in Nutzungskaskaden

Technische Universität München

Produktion von Biomasse auf der limitierten Nutzfläche.

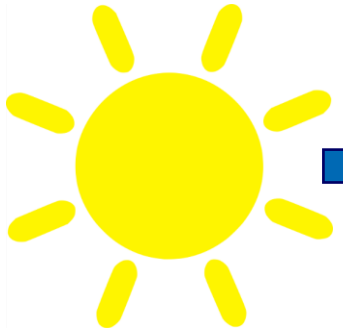
Teller — **Extraktion** von primären Funktionsstoffen (pflanzliche Nahrung, technische Werkstoffe, …).

Trog — **Sekundäre Transformation** von nicht-nutzbarer Biomasse (z.B. über Nutztiere, …).

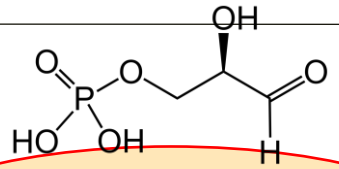
Tank — **Energetische Nutzung** der finalen Reste an Biomasse.

Die Energiegewinnung über Biomasse ist ineffizient

Technische Universität München



Photosynthese inklusive Dunkelreaktion



GAP
Glycerinaldehyd-3-P
C3-Körper

Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate, sonstige Biomoleküle

Energieverbrauch durch Aufbau und Erhaltung der lebenden Biomasse

ganze Pflanze

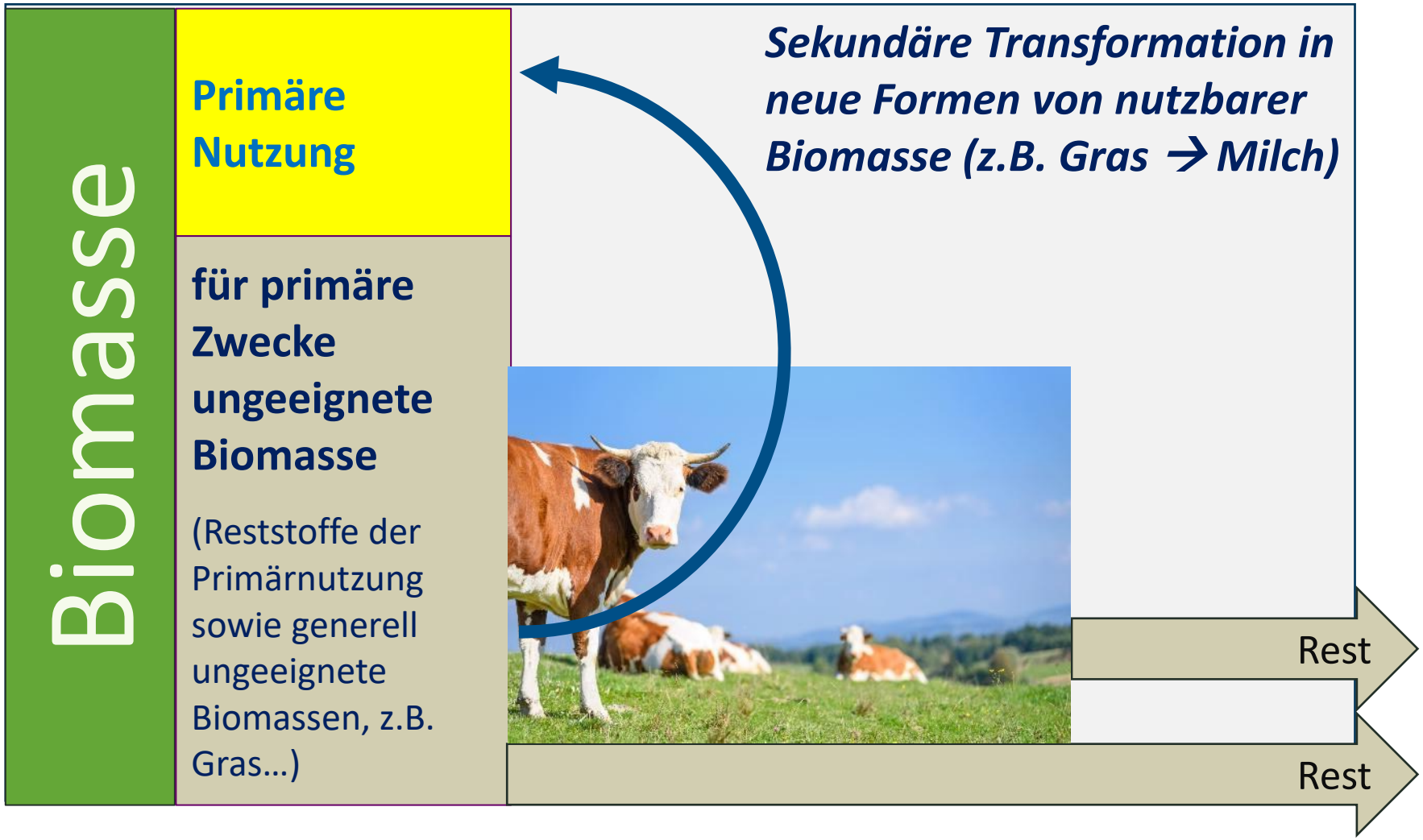
Die Nutzungseffizienz des verwertbaren Sonnenlichts bis zum ersten nutzbaren Stoff (3-Körper) ist besser als PV

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

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

Technische Universität München



Nutzungskaskade der Biomasse

primäre Biomasse

↓

sekundäre Biomasse

↓

Rest-Biomasse, energetische Nutzung

Technische Universität München

2 Pflanzenbasierte Nahrung (Teller) hinterlässt ein Vielfaches an nicht-essbarer Biomasse (Trog)

Pflanzliche Nahrung vom Acker hinterlässt ein Vielfaches an nicht-essbarer Biomasse

Weizenmehl

Weizenkleie

Weizenstroh

1 kg finales Lebensmittel (Trockenmasse)	Nebenprodukte der Lebensmittelverarbeitung (Trockenmasse)	Koppelprodukte auf dem Acker (Trockenmasse)	Relation essbares LM zu Rückstand
Weizenmehl	0,3 kg Weizenkleie	1,3 kg Weizenstroh	**1:2**
Rübenzucker	1,5 kg Trockenschnitzel	1 kg Rübenblatt	**1:2,5**
Rapsöl	1,5 kg Rapsextraktionsschrot	4,5 kg Rapsstroh	**1:6**

(Vorndran et al. 2024)

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
Bild Weizenfeld: Elmschrat bearbeitet von VH-Halle - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11032439

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

Technische Universität München

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 %

Weidetiere sind die „zweitbeste Wildnis“

Technische Universität München

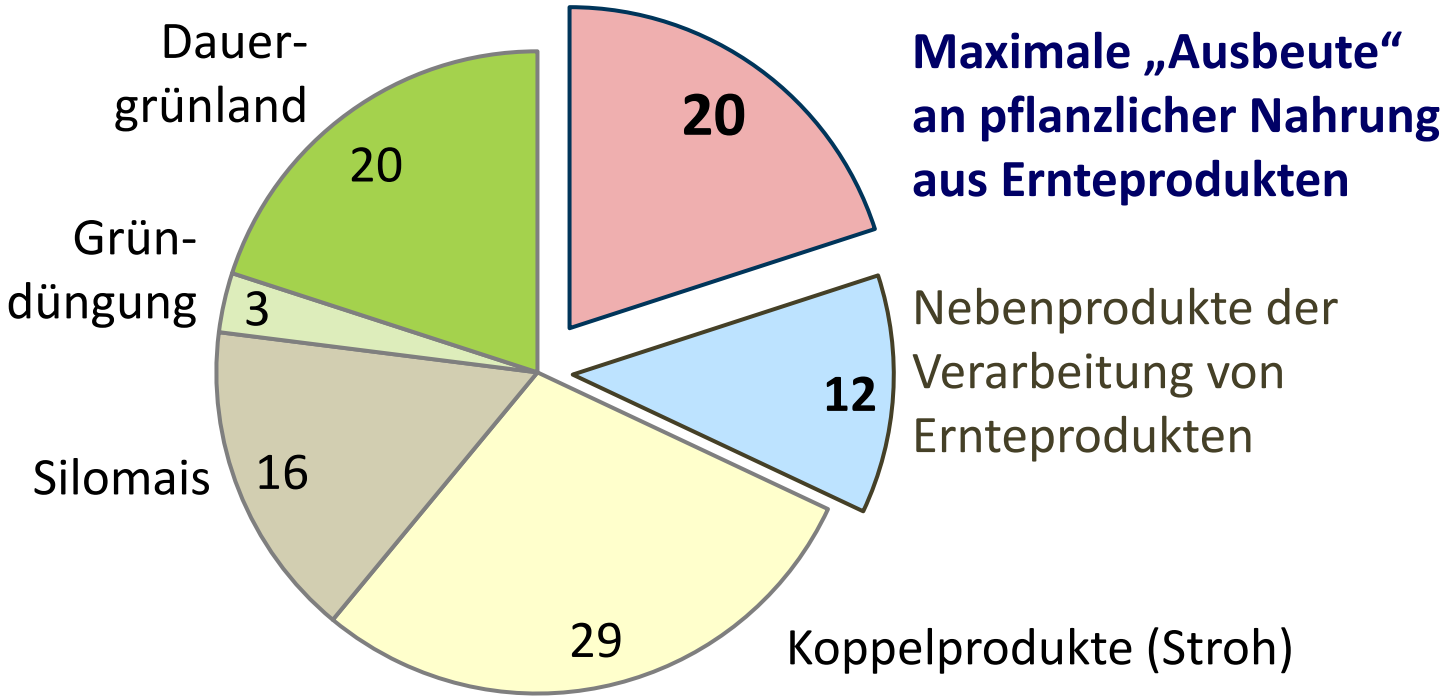
In der Natur drängen große Pflanzenfresser den Wald zurück (Megafauna): Büffel, Antilopen, Elefanten, … Wildrinder, Wildpferde
(… schon in der Steinzeit ausgerottet…)

Foto links : Source of image: Pablo Manzano, own work
Foto rechts: Von Ortrun Humpert (Schäferei Humpert) – eigenes Werk; mit freundlicher Genehmigung.

Die Landwirtschaft erzeugt unvermeidlich große Mengen an nicht-essbarer Biomasse

Technische Universität München

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



Daten aus Vorndran et al. (2024)

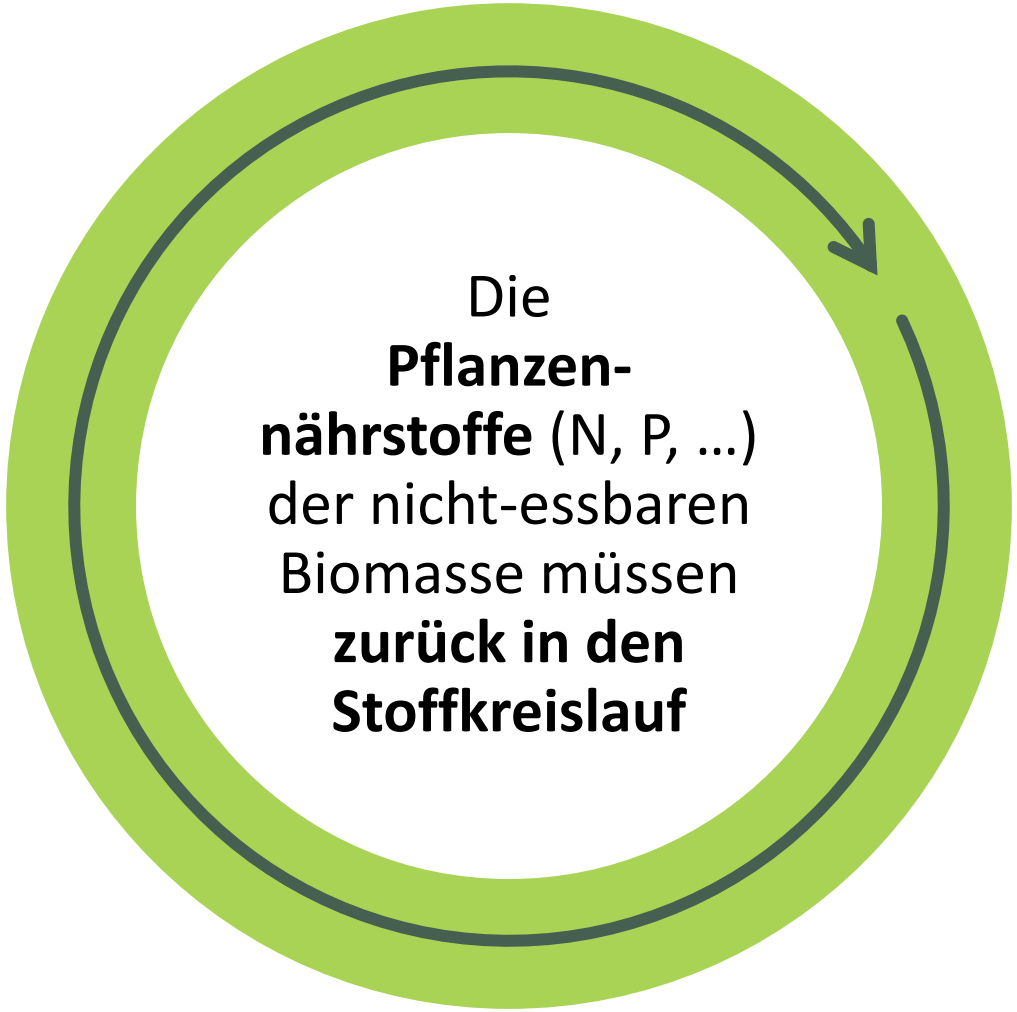
1 kg pflanzliche Nahrung verursacht mindestens **4 kg** nicht-essbare Biomasse.

Noch mehr nicht-essbare Biomasse unter praktischen Verhältnissen:

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

3 Kreislaufwirtschaft = intelligente Verwertung von Rückständen in der Nutzungskaskade

Biogasanlagen und Nutztiere sichern gleichermaßen eine hohe vegane Ernte…



- **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)

Kreislaufwirtschaft mit Nutztieren: maximaler Gewinn an Nahrung aus denselben Ressourcen

Technische Universität München

esbar

z.B. Brot
100 g Eiweiß
3000 kcal

Verhältnis mind. 1:4

Nicht esbar

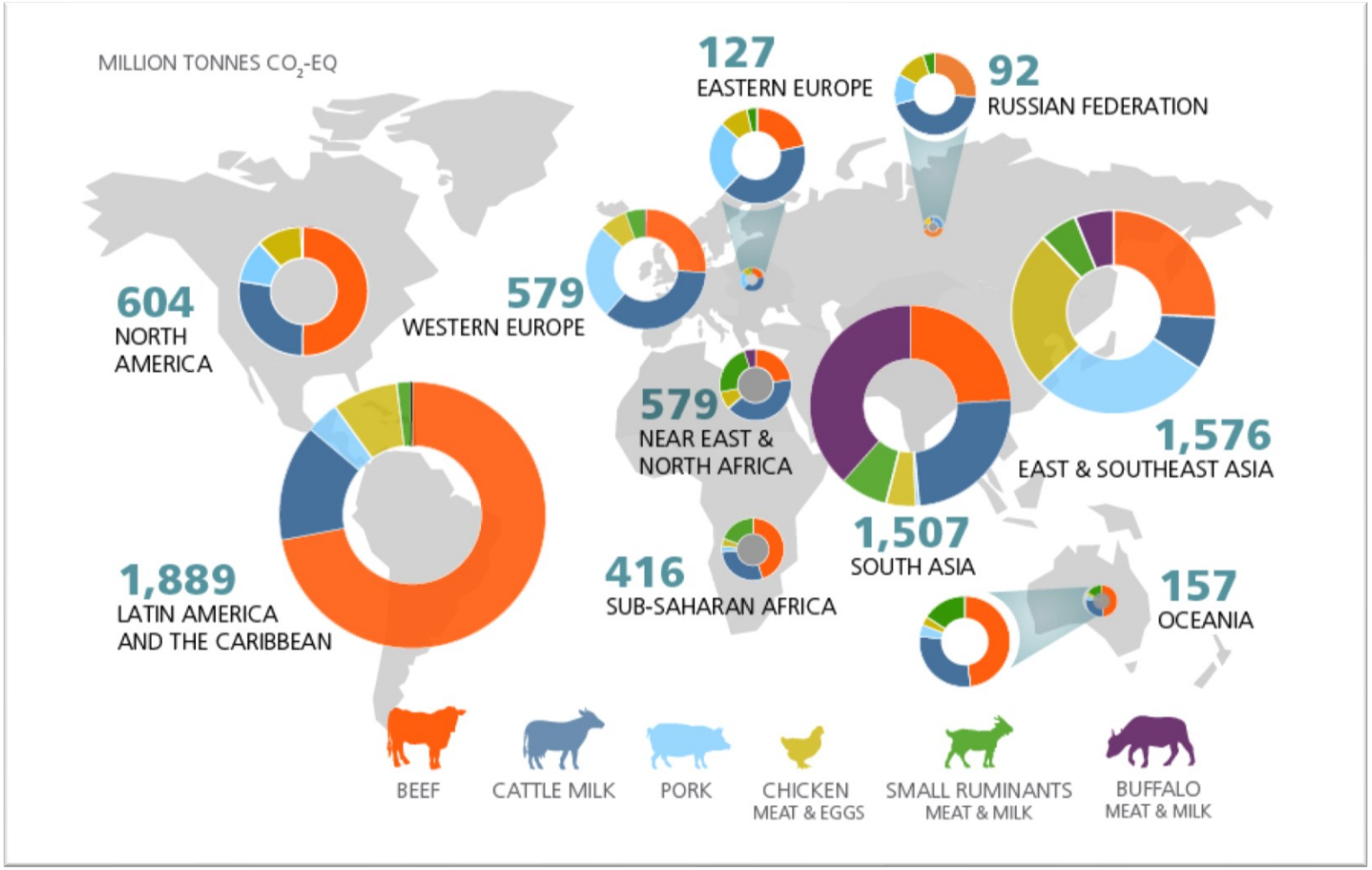
z.B. 3 kg Kuhmilch
oder 0,5 kg Fleisch
100 g Eiweiß
1500 kcal

mind. 50% mehr Nahrung aus derselben Nutzfläche ohne Nahrungskonkurrenz

4 Klima-Killer Kuh?

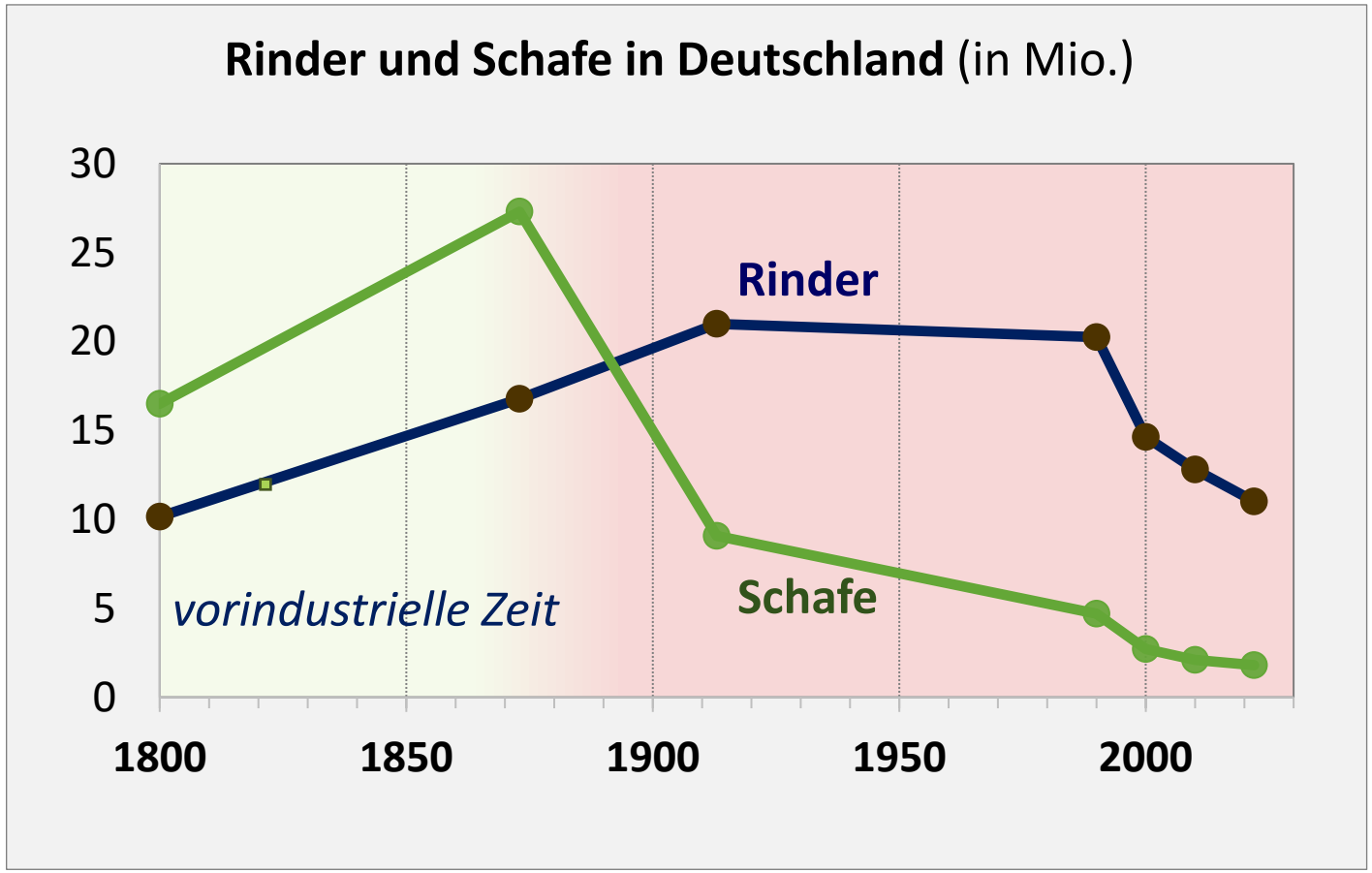
Unser lokales CH_4-Problem wird überschätzt!

Globale CO_2-Äquivalente von Nutztieren (FAO GLEAM 2022)



Die Problemzonen der CH_4-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).

KLIMA-KILLER-KUH ist ein irreführendes Narrativ

Technische Universität München

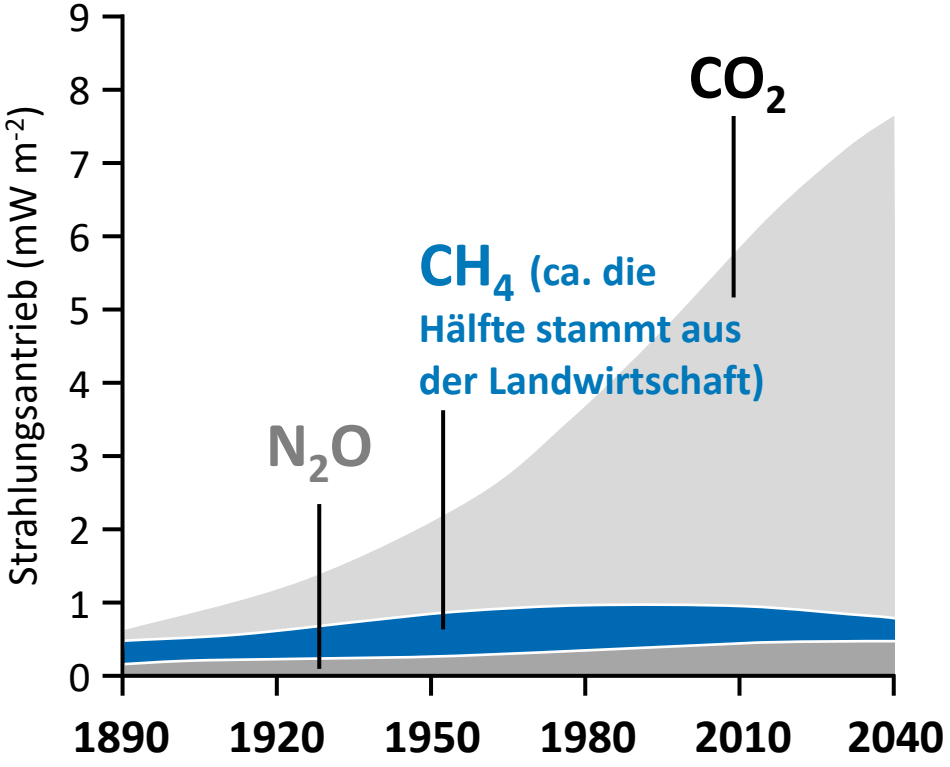
CH_4 ist ein kurzlebiges Treibhausgas. Die offizielle Metrik des CO_2-Fußabdrucks (GWP_{100}) ignoriert die physikalische Tatsache, dass konstante CH_4-Emissionsraten klimaneutral sind (z.B. Allen et al. 2018, Smith et al. 2021). Der Fußabdruck von Milch und Rindfleisch aus Mitteleuropa wird um Faktor 2 überschätzt (Hörtenhuber et al. 2022)

Maßnahmen gegen die Klimakrise:

- Stopp der Emissionen von CO_2 aus fossilen Quellen.
- Ausweitung von CO_2–Senken (Grasland > Wald).
- Wiederkäuer auf dem Niveau der Kreislauf-wirtschaft konstant halten.

Kumulativer Klimaeffekt nationaler THG-Emissionen

(Beispiel Österreich, Guggenberger et al. 2022)



Technische Universität München

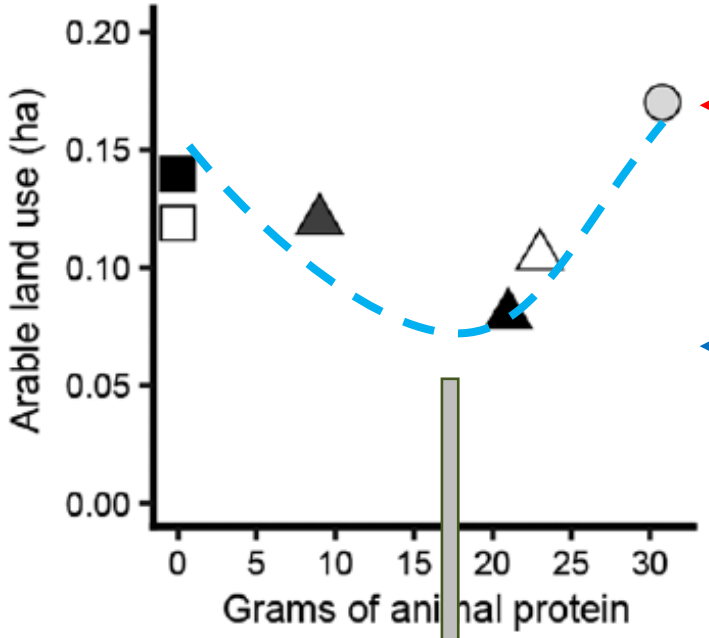
5 Zu viel Nutztiere schaden Umwelt & Klima, … zu wenig aber auch

Die völlige Abschaffung der Nutztiere ist keine Option

Beim Kreislauf der nicht-essbaren Biomasse entstehen dieselben Emissionen, egal ob Verrottung/Kompost, Biogas oder Nutztiere.

Der Verzicht auf Nutztiere reduziert den Ertrag an Nahrung aus derselben Fläche, die Emissionen bleiben jedoch unverändert.

(Van Zanten et al. 2018)



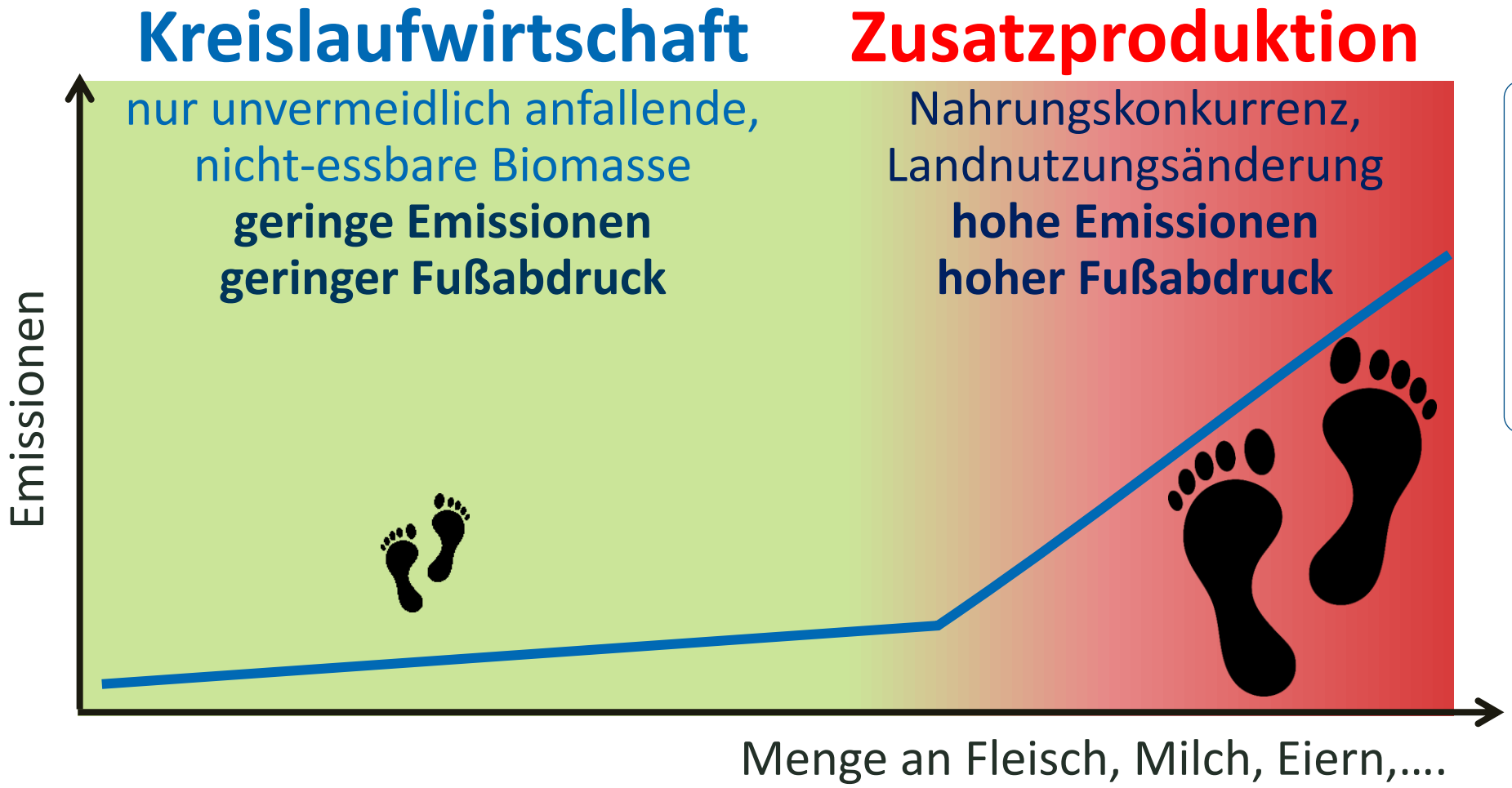
intensive Tierhaltung (Nahrungskonkurrenz, Landnutzungs-änderung)

Nutztier werden nur mit nicht-essbarer Biomasse gefüttert

Kreislaufwirtschaft mit Nutztieren
= minimale Fußabdrücke

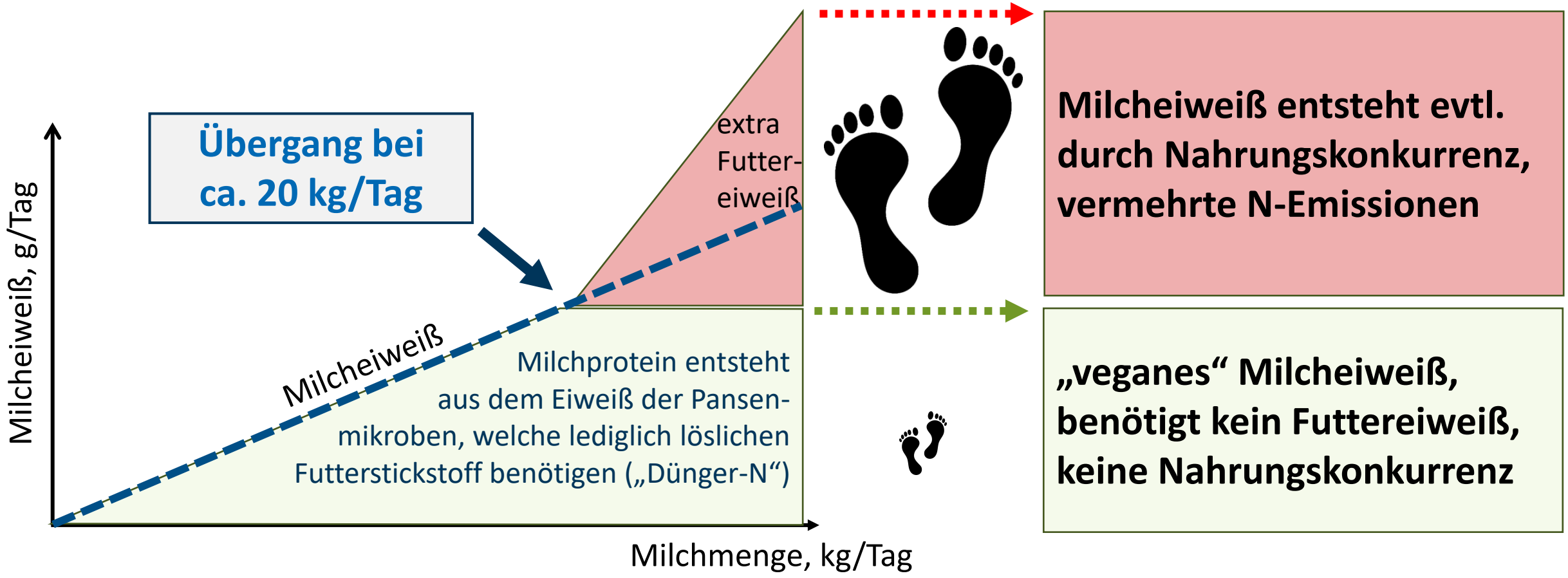
Fleisch, Milch, Eier, … haben zwei Fußabdrücke

Technische Universität München



Kraftfutter ist kein Problem, solange es aus nicht-essbarer Biomasse besteht!

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

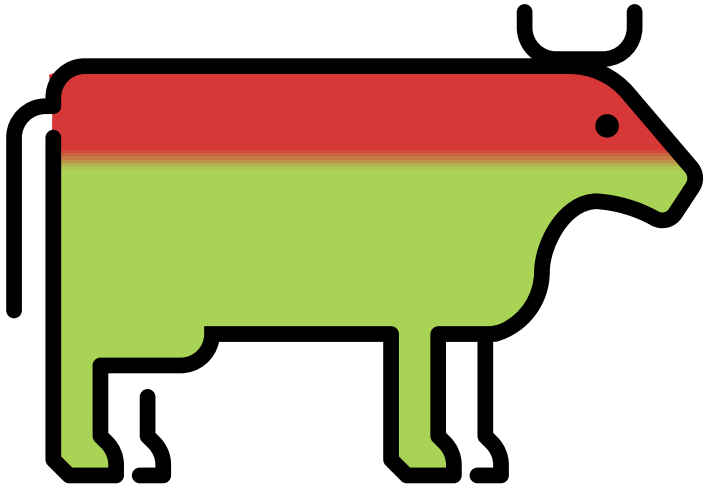


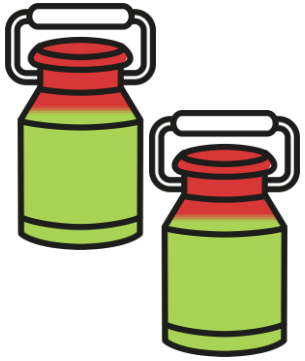
Technische Universität München

6 Effizienz, Umweltschutz, Klimaschutz im engen Korsett der planetaren Grenzen der Biomasse:

Das Schlechte vermeiden – das Gute fördern

Das Schlechte vermeiden – das Gute fördern





~~Überschussproduktion mit essbarer Biomasse: Nahrungskonkurrenz, Landnutzungsänderung~~

Nachhaltige Nahrungsproduktion mit Biomasse aus Grasland sowie mit Rückständen vom Acker und der Verarbeitung von Lebensmitteln.

Kreislaufwirtschaft reduziert die Umwelt- und Klimawirkungen tierischer Lebensmittel, aber auch die Produktmenge im Vergleich zu jetzt:

Milch und Rindfleisch:	minus 30 %
Schweinefleisch:	minus 50 %
Geflügelfleisch, Eier:	minus 90 %

(Baur & Flückiger 2018, De Luca & Müller 2024, Pfeifer et al. 2024)

Notwendigkeit zur effizienten Nutzung der nicht-essbaren Biomasse

Die nicht-essbare Biomasse muss effizient verwertet werden

Technische Universität München

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

Technische Universität München

7 Das Prinzip *Teller > Trog > Tank* gilt auch für „alternative“ Lebensmittel

„Protein“ ist ernährungsphysiologisch ungenau:

1) Pauschale Analyse, Nicht-Protein-Stickstoff (NPN)

Technische Universität München

Protein im Sinne der Ernährung = Polymere aus **20 biogenen Aminosäuren** mit einigermaßen passendem Muster an essenziellen Aminosäuren (Reineiweiß).

Protein als Lebensmittel-**Tabellenwert** = Gehalt an **Stickstoff (N) * 6,25** (Rohprotein)

Fehlerquelle: a) Nicht-Protein-Stickstoff (NPN) täuscht Protein vor (DNA, Betain, Nitrat, NH_3, usw.)

Protein (N*6,25) in tierischen Lebensmitten enthält bis zu 5 % NPN-“Protein“

Körnern und Samen	5 – 10 %
Wurzeln und Knollen	40 – 50 %
Hefen, Pilzen, Bakterien	10 – 30 %

b) Der Umrechnungsfaktor 6,25 ist sehr pauschal (Mittelwert aus pflanzlichen und tierischen Proteinen)

In der Milchtechnologie: Umrechnungsfaktor	= 6,38
In der Getreidetechnologie (v.a. Weizen):	= 5,7

„Protein“ ist ernährungsphysiologisch ungenau:

2) Das Reineiweiß ist unterschiedlich gut verwertbar

Technische Universität München

Reineiweiß ist unterschiedlich gut verdaulich.

Präzäkale Verdaulichkeit der Aminosäuren (in Summe) beim Schwein:

Protein aus	Milch, Ei	pcv gesamt AS	85 – 90 %
	Getreide, Körnerleguminosen		75 – 85 %
	Wurzeln und Knollen		ca. 50 %

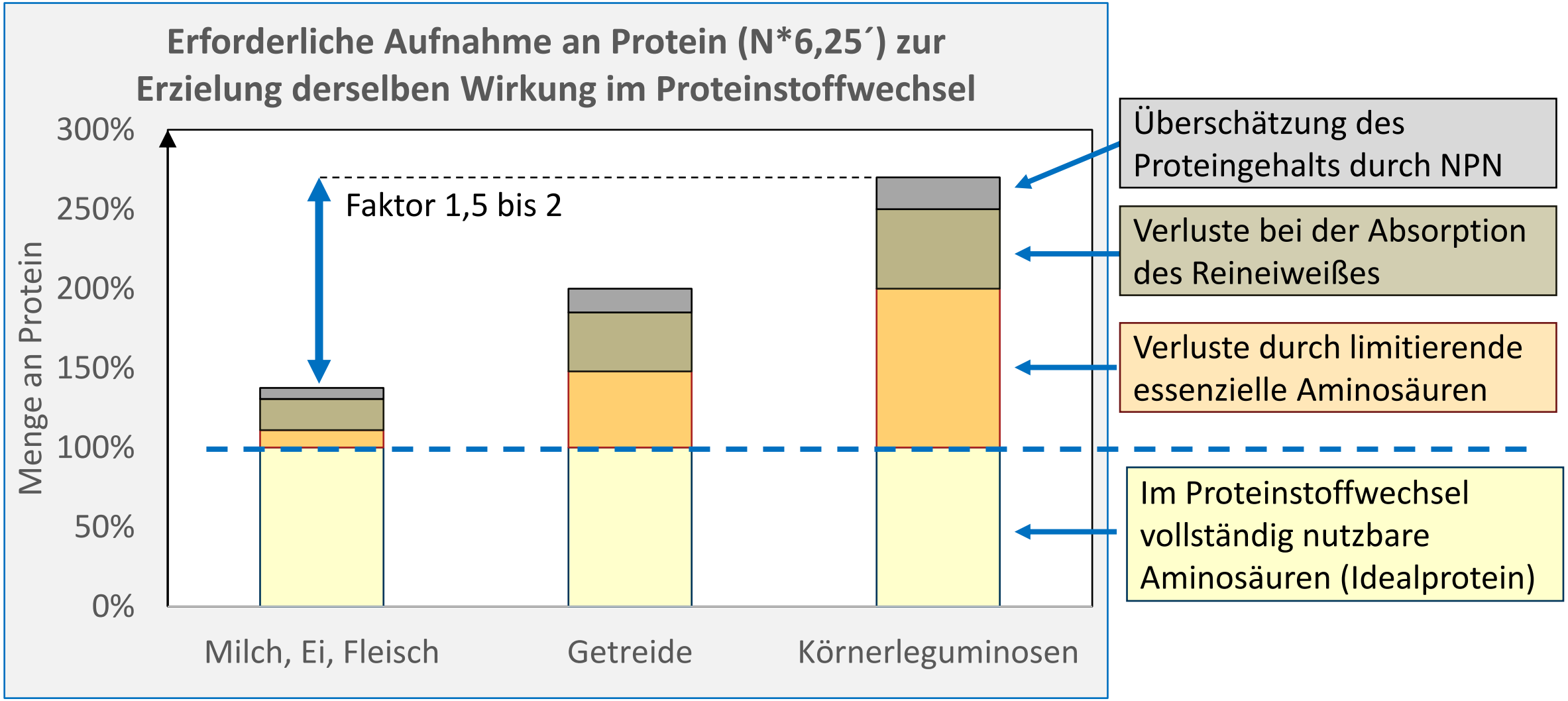
Das Muster der absorbierten Aminosäuren kann vom Idealprotein erheblich abweichen.

Es ist immer eine essenzielle Aminosäure limitierend. Bei Proteinen aus Pflanzen, Mikroorganismen und Pilzen ist es v.A. Met+Cys und Lys. Tierische Proteine enthalten zumeist einen gewissen Überhang.

Der metabolische Bedarf ist erst dann gedeckt, wenn die erstlimitierende Aminosäure in ausreichender Menge absorbiert wurde. Je stärker die Limitierung, desto mehr AS müssen absorbiert werden.

Biolog. Wertigkeit für Wachstum	Ei & Milch > Fleisch	0,95 – 0,75	erforderliche Absorptions-menge	100 %
	Soja > Getreide > Mais	0,75 – 0,6		125 %
	Erbsen, Linsen, Bohnen	0,6 – 0,4		> 150 %

Bis zu doppelt so viel alternatives „Protein“ (N*6,25) für dieselbe ernährungsphysiologische Wirkung

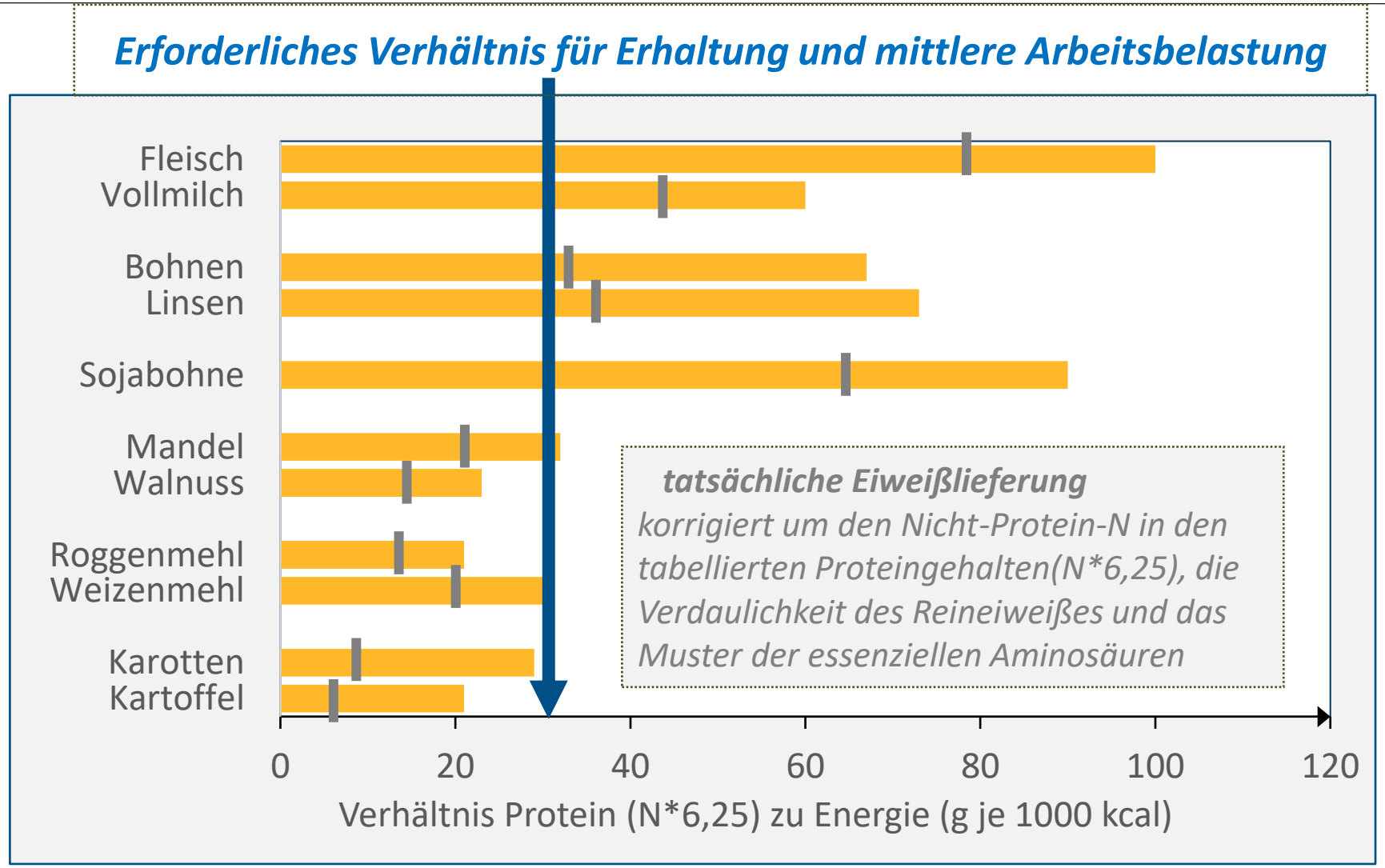


Native pflanzliche Proteinquellen liefern gleichzeitig auch viel Kilokalorien

Technische Universität München

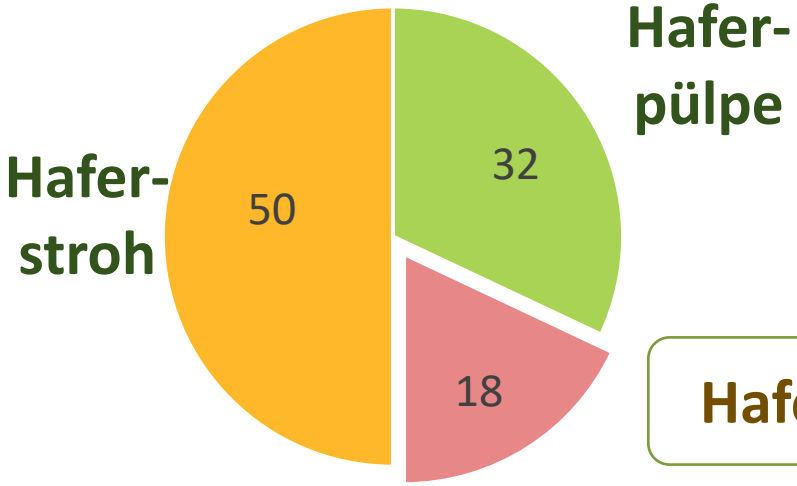
tatsächliche Eiweißlieferung
*korrigiert um den Nicht-Protein-N in den tabellierten Proteingehalten(N*6,25), die Verdaulichkeit des Reineiweißes und das Muster der essenziellen Aminosäuren*

Native pflanzliche Proteinquellen liefern gleichzeitig auch viel Kilokalorien

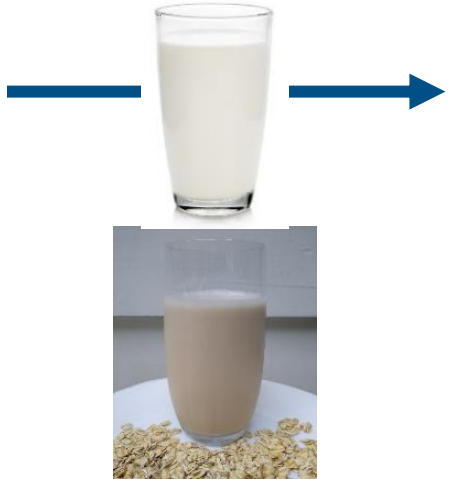


Nur wenige native pflanzliche Lebensmittel sind wirklich proteinbetont

Teller > Trog > Tank
Vegane Lebensmittel hinterlassen stets Futtermittel



Haferdrink



1 Glas Haferdrink generiert ein weiteres Glas Kuhmilch

1 kg finales Lebensmittel (Trockenmasse)	**Relation essbares LM zu Rückstand**
Sojaöl + Tofu	**1:3,5**
Haferdrink	**1:5**
Weizenprotein	**1:20**

Vegane Lebensmittel sind *keine Alternativen* zu tierischen Produkten *sondern Partner* einer gemeinsamen Nutzungs-kaskade.

Ziel: optimale Verteilung der gesamten Biomasse zwischen Teller und Trog

Bild Haferdrink von Mx. Granger - Eigenes Werk, CC0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=92508393

Pilze und Hefen erweitern das Nutzungsspektrum der nicht-essbare Biomasse

Technische Universität München

Methan, Methanol, etc.

verholztes Material, für Wiederkäuer wenig geeignet
(anaerobe Mikroben können Lignin nicht abbauen)

Aerobe Systeme:
Pilze, *precision fermentation*
z.B. mit Pichia pastoris

nicht-essbare Biomasse, löslicher Stickstoff (NH_3)

Energie: vollständige Veratmung zu CO_2

Wachstum → **Eiweiß**

(+) Nutzung „extremer“ Biomassen, die für Nutztiere ungeeignet sind. Erweiterung des Spektrums der Erzeugung von Lebensmitteln.

(-) Die Ausbeute an Protein ist gering. Es bleiben große Restmengen an Biomasse zurück (z.T. Futtermittel)

Wiederkäuer sind Pilzen und Hefen überlegen, sobald die Biomasse futtertauglich ist

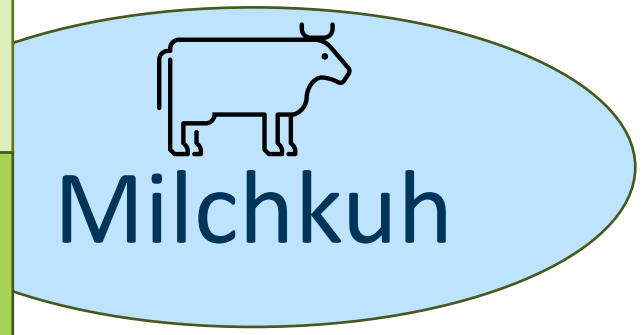
Technische Universität München

Aerobe Systeme: Pilze, Hefen, *precision fermentation*

Stofftransfer ist ineffizient, es wird nur Protein geerntet, Nahrungsenergie verpufft im Produktionssystem

Anaerobe Fermentation zu flüchtigen Fettsäuren

Stofftransfer ist effizient, Mikroben liefern Protein **und** energiereiche Abbauprodukte (flüchtige Fettsäuren)



(Milch)Eiweiß

Faktor 4 in Bezug auf Stoffmenge und Kilokalorien

Milch:

- Milcheiweiß
- Fett
- Laktose

In-vitro Fleisch ist ein einzelliges Nutztier, das direkt von *Teller* frisst

Technische Universität München

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

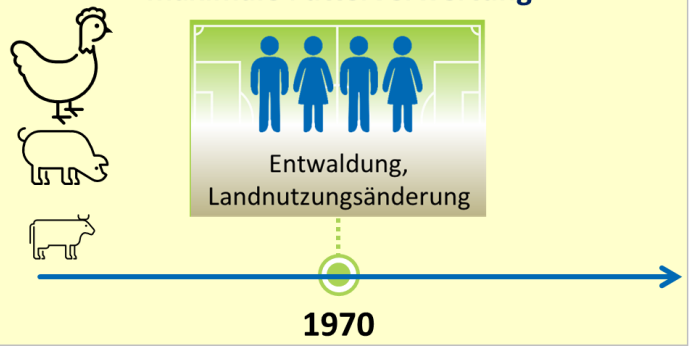
- Muskelzellen benötigen reine Nährstoffe (Glukose, Aminosäuren, …), die aufwändig aus Getreide, Mais, Soja,… hergestellt werden.
- *In-vitro*-Fleisch ist der größtmögliche Nahrungskonkurrent des Menschen.
- Die Stofftransformation ist nicht effizienter als Mastgeflügel (dem System fehlen Leber und Niere).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

In vitro-Fleisch ist der Gipfel der intensiven 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.

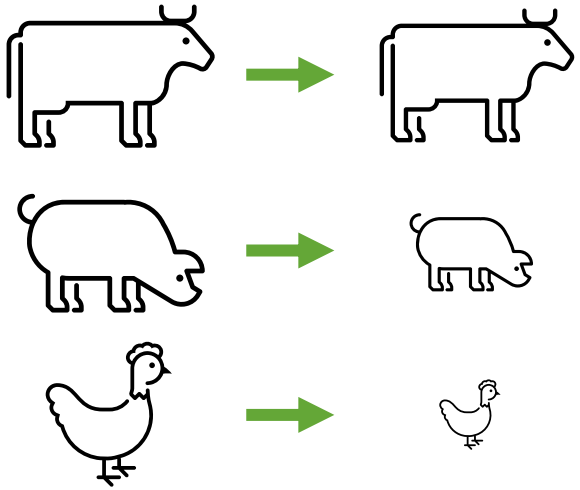
Lineare Veredelungswirtschaft

maximale Futterverwertung



8 Ausblick

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

Technische Universität München

	Energiewende	**Nutztierwende**
Abkehr von	fossiler Energie	Nahrungskonkurrenz, Landnutzungsänderung
Hin zu	Regenerierbare Energie: Sonne, Wind,…	Regenerierbares Futter: nicht-essbare Biomasse
Limitierung	Menge, Speicherung	Menge, Futterwert
Effekt für den Konsumenten	geringeres Angebot, höherer Preis	weniger Milch, Fleisch, Eier, …, höherer Preis
Reaktion	Quellen erschließen, Wirkungsgrade maximieren	Futterwirtschaft und Futtereffizienz maximieren