

# Innovationen in den Bereichen Nahrung, Produkte & Energie



W. Windisch  
TUM School of Life Sciences  
Technische Universität München

# Bioökonomie – circular economy – Kreislaufwirtschaft

**Bioökonomie** ist die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukünftigen Wirtschaftssystems bereitzustellen (Bioökonomierat 2017).

des Bedarfs an Biomasse

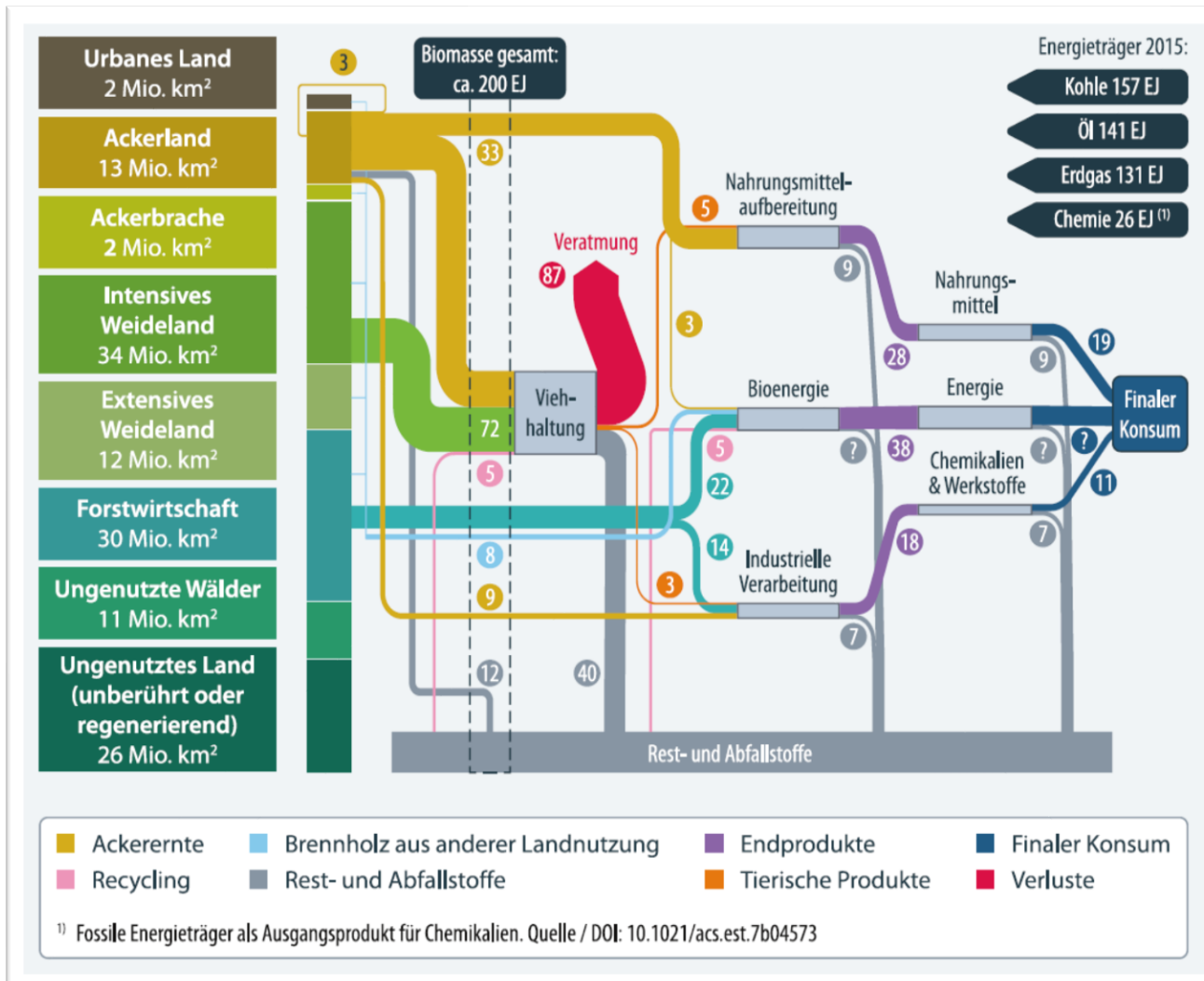
Zu den vorrangigen Aufgaben der Bioökonomie zählt die Sicherung der Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung (Bioökonomierat 2017; OECD-FAO 2018)

Die **Kreislaufwirtschaft** ist ein System von **Produktion** und Konsum, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich geteilt, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden. Dadurch werden Abfälle auf ein Minimum reduziert. Am Ende der Lebensdauer eines Produkts werden die Ressourcen und Materialien in größtmöglichem Umfang **produktiv** weiterverwendet, so dass erneut eine **Wertschöpfung** entsteht. Die Kreislaufwirtschaft steht im Gegensatz zum traditionellen, linearen Wirtschaftsmodell der "Wegwerfwirtschaft" (modifiziert nach EU-Parlament 2021).

**1**

**Biomasse ist ein knappes Gut mit höchst komplexer Struktur und Funktionalität – als reiner Energieträger viel zu wertvoll –**

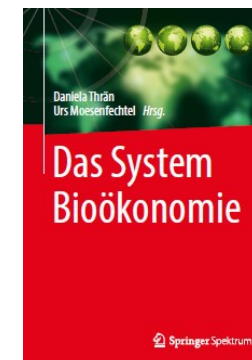
# Weltweit geerntete Biomasse, ausgedrückt als Brennwert (Exajoule/Jahr) ( $10^{15}$ J/a) (aus Thrän et al. 2020)



## Brennwerte in EJ/Jahr

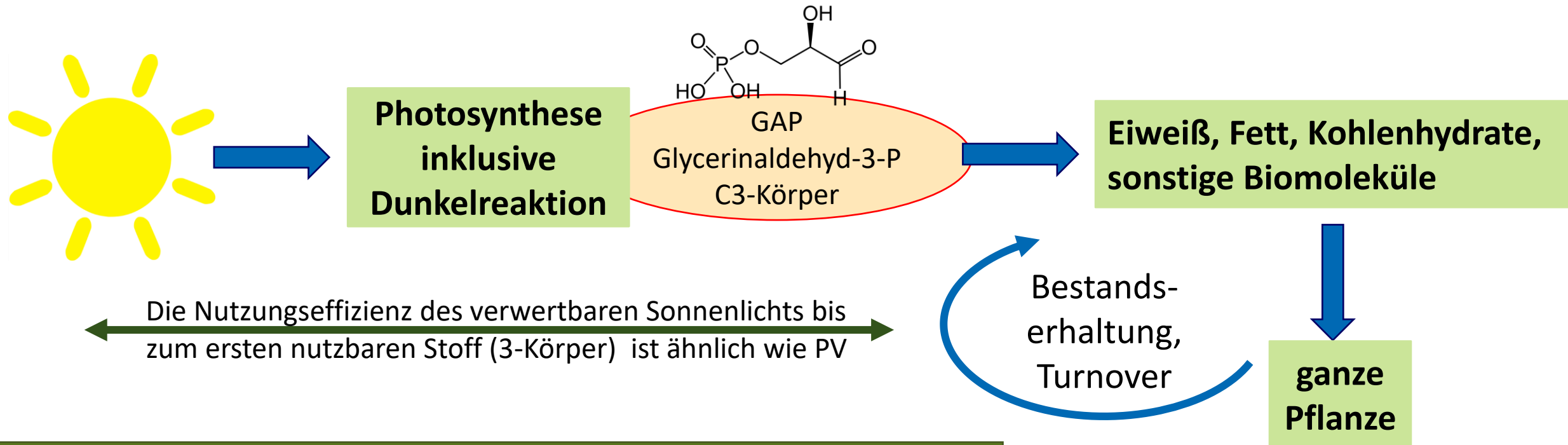
Biomasse:	200
Fossile Energiequellen:	455

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.

# Biomasse ist im Vergleich zu PV energetisch ineffizient



Der Aufbau und die Erhaltung komplexer Strukturen verbraucht den Hauptteil der primär aus der Sonne gewonnenen Energie. Der Brennwert der geernteten Biomasse speichert im Mittel nur etwa 1 % bis 2 % der eingestrahnten 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 komplexe Zusammensetzung und Funktionalität



Zuerst kommt die stoffliche Nutzung, so umfassend wie möglich.

Zuletzt kommt die Energie-Nutzung, so vollständig wie möglich.

# 2

## **Biomasse als Nahrung für Mensch und Nutztiere, ein Paradebeispiel für Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft**

# Ackerland liefert überwiegend nicht-essbare Biomasse



Körner:Stroh 1:1



Mehl:Kleie 2:1

Nur ein  
Drittel der  
geernteten  
Weizenpflanze  
landet im Mehl

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>



# Grasland liefert ausschließlich nicht-essbare Biomasse



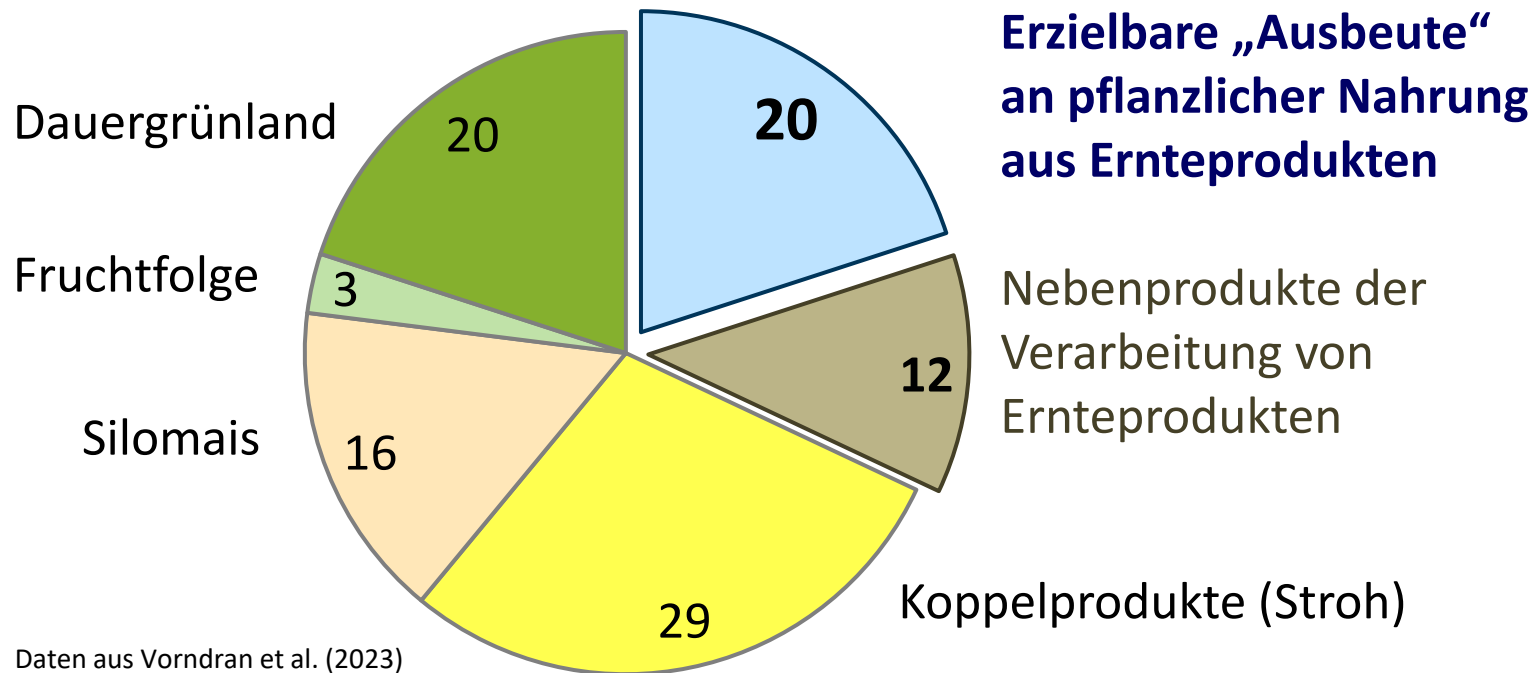
**Absolutes Grasland ist nicht ackerfähig:**  
(steil, steinig, nass, trocken, kalt,  
abgelegen, Überschwemmungsgebiet,...)

Anteil an der gesamten lw. Nutzfläche:

weltweit	über 70 %
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 hinterlässt mindestens **4 kg** nicht-essbare Biomasse.

# Nutztiere überführen nicht-essbare Biomasse in hochwertige Nahrung



essbar

z.B. Brot  
100 g Eiweiß  
3000 kcal

Verhältnis mind. 1:4



Nicht essbar

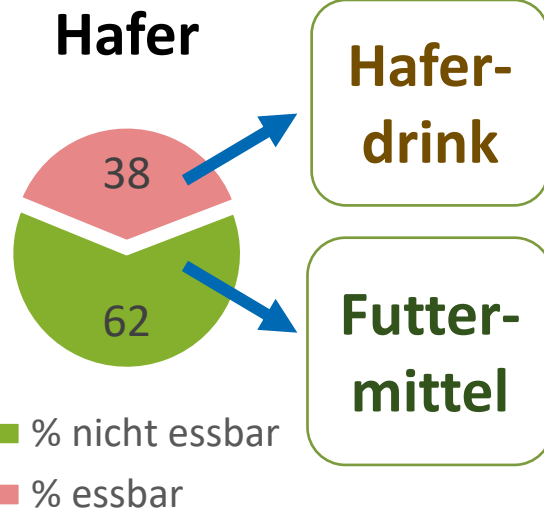


z.B. 3 kg Kuhmilch  
oder 0,5 kg Fleisch  
100 g Eiweiß  
1500 kcal



mind. 50% mehr Nahrung  
aus derselben Nutzfläche  
ohne Nahrungskonkurrenz  
und ohne Zusatzbelastung  
von Umwelt und Klima

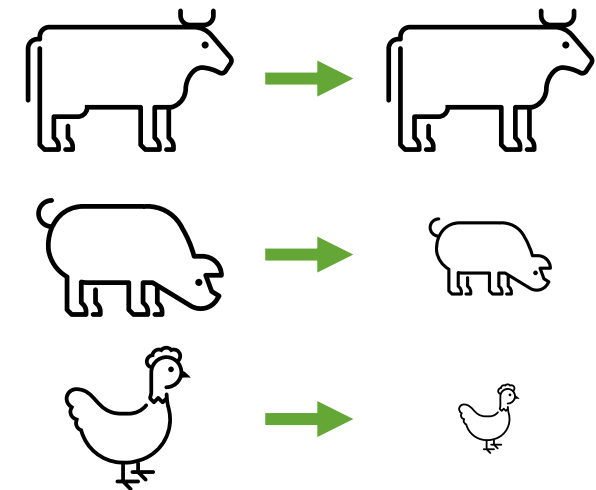
# Die Biomasse muss vollständig verwertet werden



1 Glas Haferdrink  
hat ein weiteres  
Glas Kuhmilch  
im Gepäck

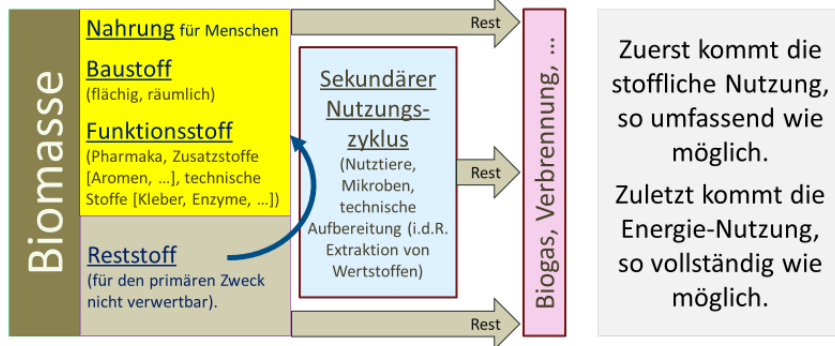
# Die Energiewende und die Bioökonomie der Nutztiere folgen demselben Prinzip

	Energiewende	Nutztierwende
Abkehr von	fossiler Energie	Nahrungskonkurrenz, Landnutzungsänderung
Hin zu	Erneuerbare Energie: Sonne, Wind,...	ohnehin anfallende, 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



# Ziele der Bioökonomie der Biomasse

Das Alleinstellungsmerkmal der Biomasse ist ihre komplexe Zusammensetzung und Funktionalität



Bioeconomy Austria Summit 2023, St. Pölten, 07.11.2023

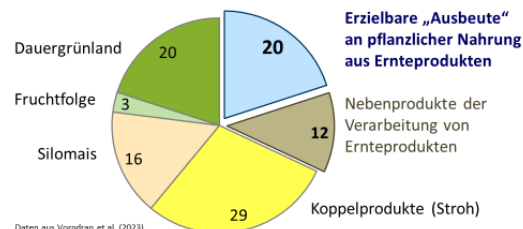
W. Windisch: Innovationen in den Bereichen Nahrung, Produkte & Energie

Ziel 1: die primäre „Ausbeute“ an stofflich nutzbare Biomasse optimieren, neue Primärziele erschließen.

Die Landwirtschaft erzeugt unvermeidlich große Mengen an nicht-essbarer Biomasse



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



Daten aus Vorndran et al. (2023)

Bioeconomy Austria Summit 2023, St. Pölten, 07.11.2023

W. Windisch: Innovationen in den Bereichen Nahrung, Produkte & Energie

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

Ziel 2: die stofflichen Sekundärnutzung effizienter machen, neue Transformationspfade finden.

# 3

## Abkürzungen finden, Quervernetzungen herstellen

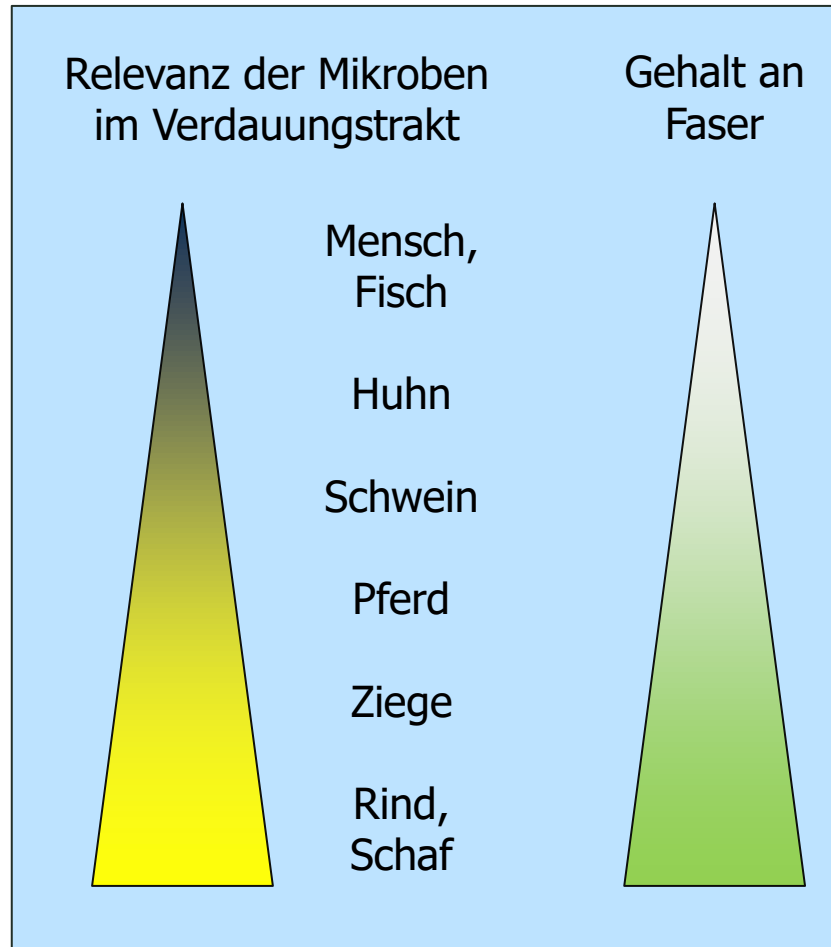


Von Hp.Baumeler - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=67405350>

Innovationen öffnen Türe durch feste Mauern, verkürzen den Weg von A nach B und bilden Quervernetzungen zu benachbarten Bereichen.

# ~~„Gras ist Futter für Wiederkäuer und nichts für Menschen (Schweine, Hühner, ...)“~~

nicht ganz richtig



The diagram shows a cross-section of a plant cell with the following labels: Plasmodesmen, Zellmembran, Zellwand, Chloroplast, Thylakoidmembran, Stärkekorn, Vakuole, Tonoplast, Mitochondrium, Peroxisom, Zytoplasma, kleine membranöse Vesikel, raues endoplasmatisches Retikulum, Zellkern, Kernpore, Kernmembran, Kernkörperchen, Zytoskelettfilamente, Golgi-Apparat, Golgi-Vesikel, glattes endoplasmatisches Retikulum, and Ribosomen.

Von Translation by Muellercrtp - Image:Plant cell structure.svg.svg from Mariana Ruiz Villarreal, LadyofHats, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?c=urid=1574988>

**„Coating Effekt“:**  
Die faserhaltige Zellwand unterbindet die Verdauung durch körpereigene Enzyme. Nur Mikroorganismen können die Zellwand öffnen.  
**Der Inhalt der Zelle selbst ist höchst verdaulich.**



# Extraktion von Protein aus grüner Biomasse – eine alte Idee –

24 June 1966, Volume 152, Number 3730

## SCIENCE

**Leaf Protein as a Human Food**

N.W. Pride

Leaf protein, known to be nutritionally adequate, now awaits efficient manufacture and wide acceptance.

of work done in laboratories on leaf proteins; most of it is incidental to the study of photosynthesis, virus infection, or the general metabolism of the leaf. Eight or ten years ago it may still have been reasonable (4) to review leaf proteins as if they were a definable category, but the scale and diversity of work has so increased that there would be little advantage in doing this now. There has been no comparable increase in interest in the practical use of extracted leaf protein. In 1924 and 1925

Die Proteinqualität im Zellsaft von vegetativem Pflanzenteilen ist deutlich besser als im Speicherprotein von Samen.

- ? Sojablätter statt Sojabohne
- ? Weizenblätter statt Weizenkörner
- ? Blätter von Laubbäumen statt ...

Biologische Wertigkeit des Nahrungsproteins (%)			
„Normales“ Material	BW (%)	Proteinisolat aus Blättern	BW (%)
Ei	97	Blatt von Spinat	84
Rindfleisch	75	Blatt von Klee	84
Soja (Samen)	65	Blatt von Weidelgras	86
Weizen (Korn)	50	Blatt von Weizen	86
Mais (Korn)	26	Blatt von Mais	83

**Wir haben uns seit jeher daran gewöhnt, dass die Zellwand uns den nutritiven Zugang dazu verwehrt...**

Akeson & Stahlmann (1965)

# Limitierender Kopplungen aufheben!

## Beispiel: Gewinnung von hochwertigem Eiweiß aus Klee gras

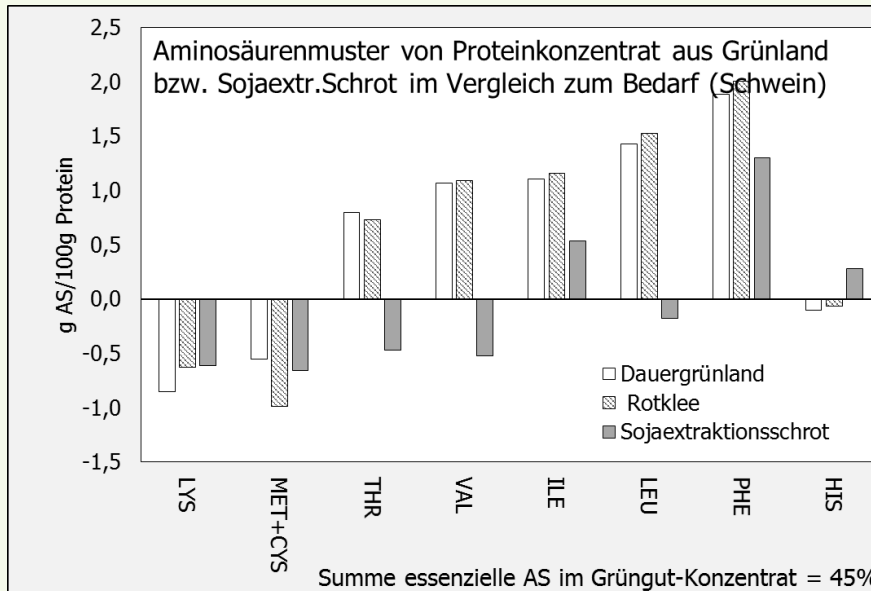
**Kleegras**  
1000 g Trockenmasse  
200 g Rohprotein

Pressen

**Press-Saft**  
60 % Ausbeute

Zugabe von Propion-  
säure, Zentrifugation

**Proteinkonzentrat**  
135 g Trockenmasse  
58 g Rohprotein  
48 g Reineiweiß



**Der Rückstand bleibt weiterhin ein gutes Wiederkäuerfutter!**

(Nadler et al. 2013)

Separierung von hochwertigem Eiweiß aus Rückständen biotechnologischer Verfahren, mikrobiologischer Umsetzungen, usw.:

- Schlempen aus Biosprit-Herstellung
- Gärreste von Biogas-Anlagen
- ...

Trennung von grüner Biomasse (z.B. Luzerne) in Blätter (hochwertig) und Stängel (faserreich). Die Rückstände sind i.d.R. faserreich und eignen sich als Futter für Wiederkäuer.

# Diversifizierung der stofflichen Nutzung von Biomasse (Baustoffe, Funktionsstoffe)

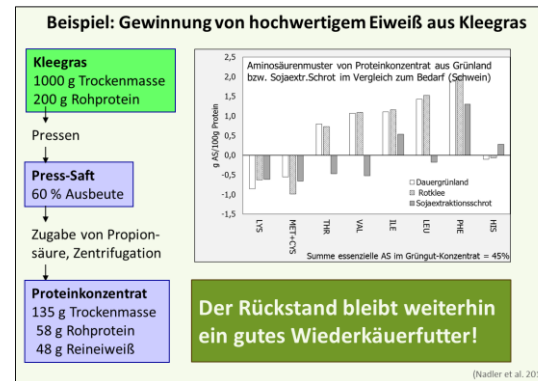


CC BY 1.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26110>

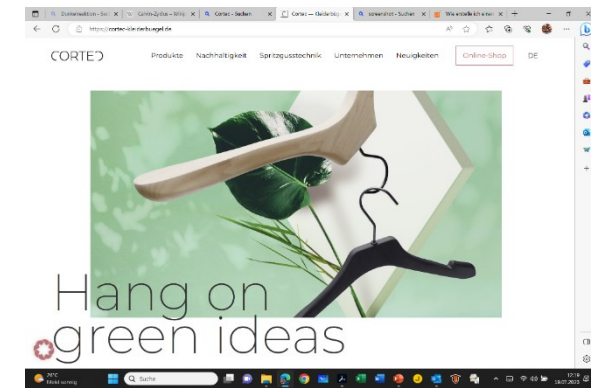


Von Frank Liebig - Archiv Frank Liebig, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50379958>

Hanf als Quelle von  
Textilien, Pharmaka,  
Dämmstoffen, ...



Gras und Klee als  
Quelle für Klebstoffe,  
Aromen, ...

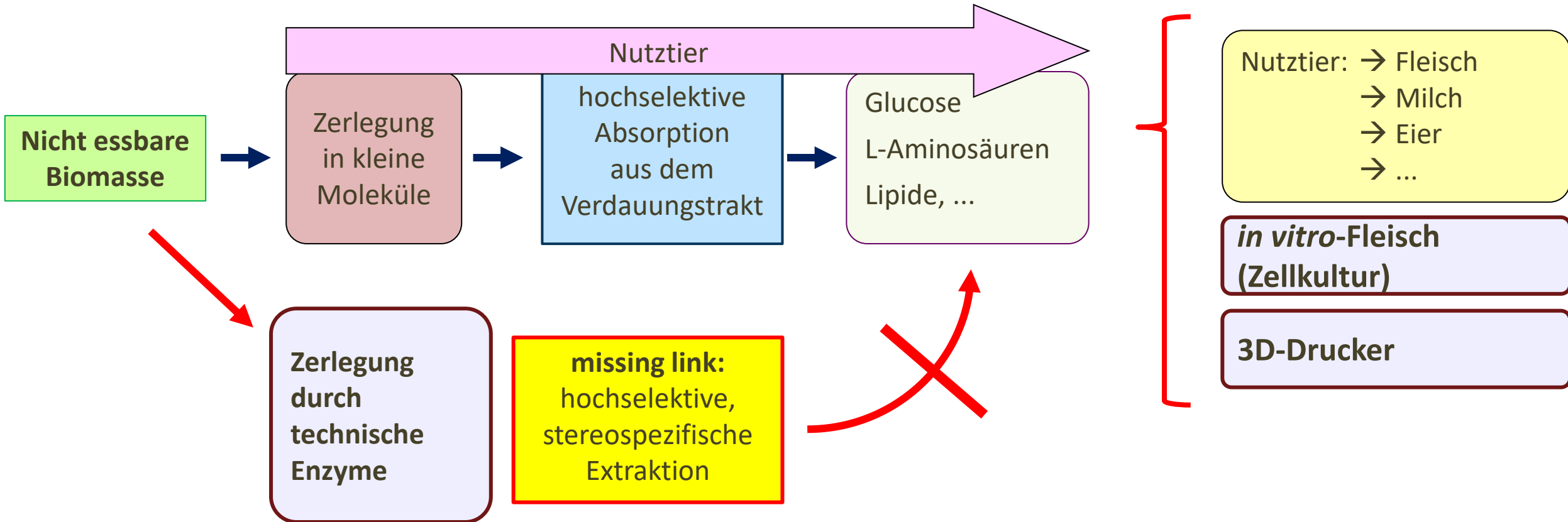


Zellulosegerüste z.B. aus Gras  
als Stützmaterial für Verbundwerkstoffe,  
Zellkulturen, ...

Abfrage online am 1.07.2023: Cortec –  
Kleiderbügel für Fashion und Logistik  
(cortec-kleiderbuegel.de)

?? Wurde die Biomasse vollständig verwertet?  
?? Erreichen die gekoppelten Nutzungspfade in der Summe die höchste Wertschöpfung?

# Was ist das Alleinstellungsmerkmal der Nutztiere? Was müssten wir haben, um auf sie verzichten zu können?



Die Gewinnung reiner Nährstoffe aus nicht essbarer Biomasse schaffen bislang nur Nutztiere!

# Biomasse ganz ohne Nutztiere und Nutzpflanzen?

## Nutzpflanzen

Nutzpflanzen transformieren Sonnenenergie in konservierbare Biomasse

Das Alleinstellungsmerkmal ist die Photosynthese (Bildung C3-Körper)

Es wird stets die **ganze Pflanze** unterhalten  
→ **überwiegend nicht-essbarer Biomasse**

## Nutztiere

Nutztiere generieren aus nicht-essbarer Biomasse zusätzliche Lebensmittel

Das Alleinstellungsmerkmal ist die Verdauung der nicht-essbaren Biomasse

Es wird stets das **ganze Nutztier** unterhalten  
→ **hohe Transformationsverluste**

## Zukunftsvision

H<sub>2</sub> aus Photovoltaik wird über CH<sub>4</sub> in den C3-Körper der Photosynthese transformiert. Mikroben machen daraus Protein, Kohlenhydrate, Fett, ...

Biologische Transportproteine auf technischen Membranen (Bionik) extrahieren Glucose, Aminosäuren, etc. aus Stoffgemischen, ...

# Innovationen in den Bereichen Nahrung, Produkte & Energie

## Bioökonomie funktioniert erst auf der Ebene des Gesamtsystems

**Biomasse** ist ein höchst wertvolles Primärprodukt von Pflanzen (und Mikroben) mit spezifischen Funktionen (Nahrung, Baustoff, Funktionsstoff). In der Kreislaufwirtschaft wird Biomasse so vielfältig wie möglich, in möglichst großem Umfang und so lange wie möglich als Biomasse verwertet.

- Sektorales Denken abbauen (Pflanze – Tier – Wald – Wasser – ...).
- Stoffliche Diversifizierung vermehren.
- Synergien suchen, limitierende Kopplungen brechen.
- Verantwortung für nachgelagerte Verwertungen übernehmen.

**LOW INPUT – HIGH OUTPUT** | **KOMPLEXITÄT geht vor ENERGIE**