

Perspektiven der Kreislaufwirtschaft zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse aus der Primärproduktion



W. Windisch
Lehrstuhl für Tierernährung
TUM School of Life Sciences
Technische Universität München

Kreislaufwirtschaft – Circular Economy - Bioökonomie

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).

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).

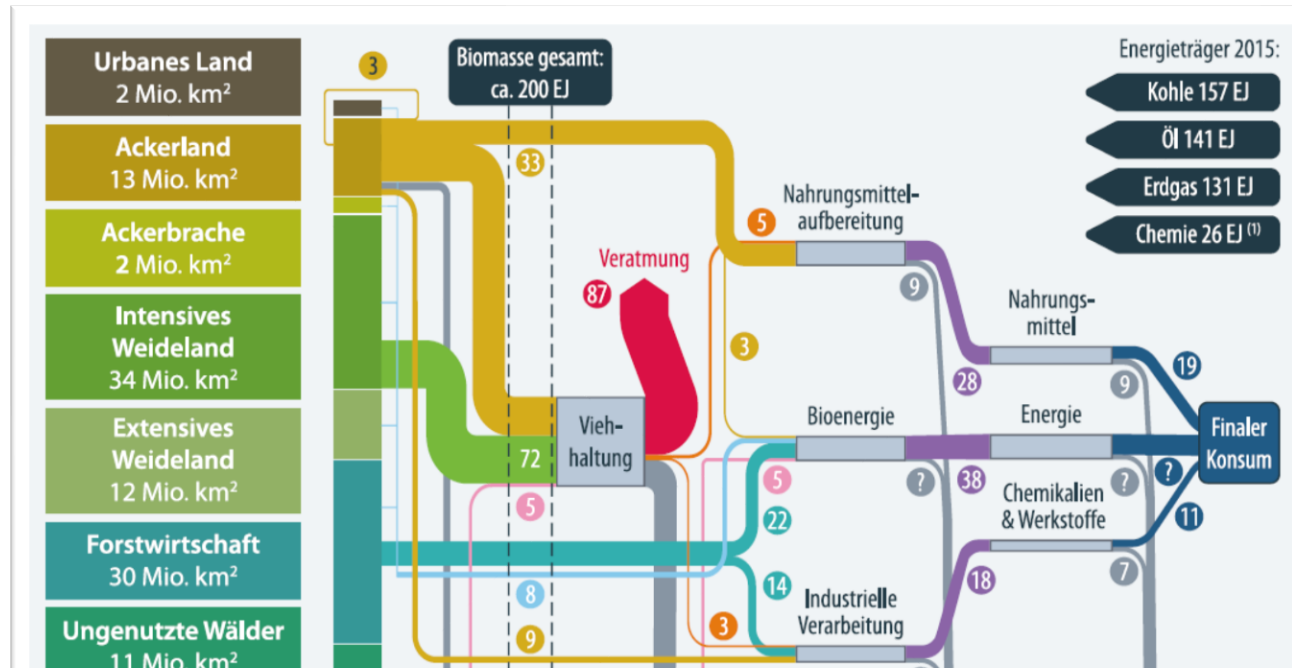
des Bedarfs an Biomasse

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

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



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

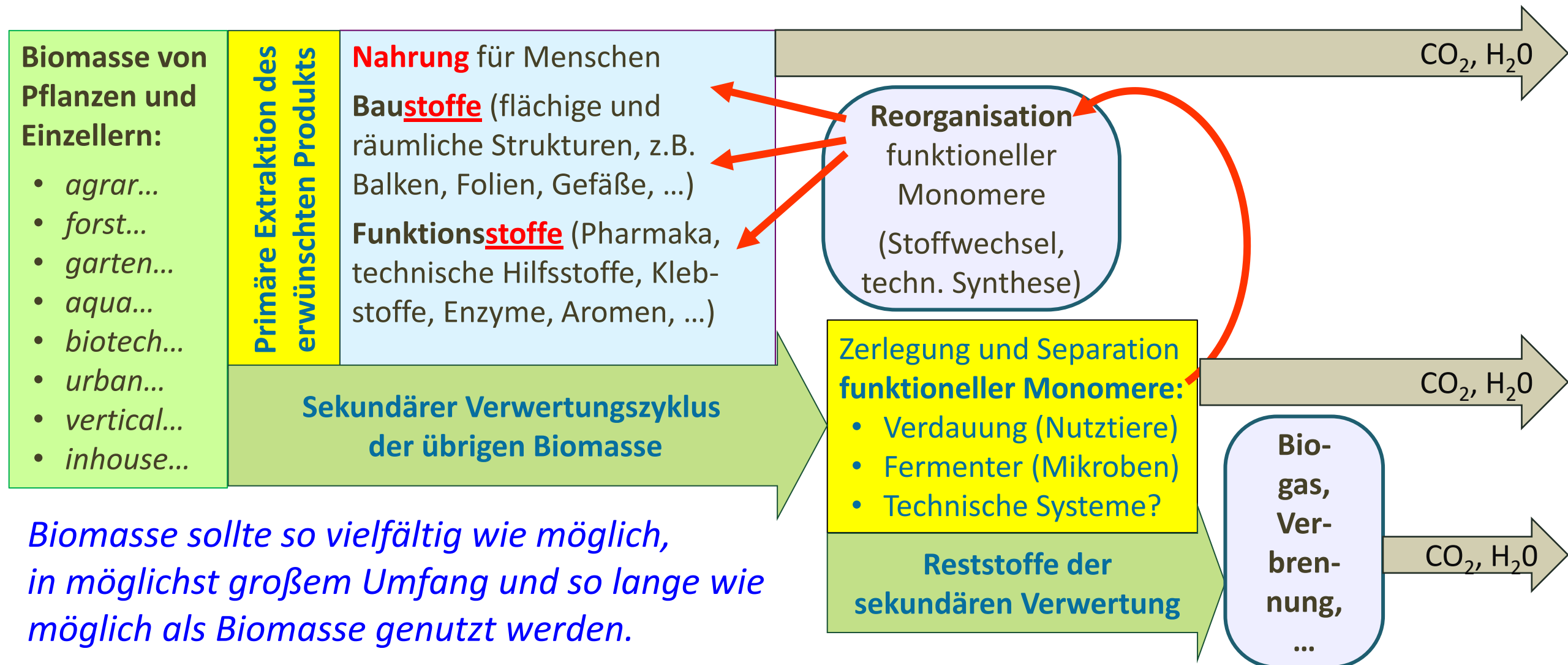


Brennwerte in EJ/Jahr
Biomasse: 200
Fossile E.-Träger 455

Die global geerntete Biomasse könnte allenfalls die Hälfte des Bedarfs an fossiler Energie ersetzen.

- Biomasse kann nur durch Lebewesen generiert werden (primär durch Photosynthese).
- Biomasse ist energetisch relativ ineffizient, aber dafür extrem komplex und funktional.
- Biomasse ist viel zu wertvoll, um sie einfach nur energetisch zu verwerten.

Biomasse ist viel zu wertvoll, um einfach nur verheizt zu werden



Biomasse sollte so vielfältig wie möglich, in möglichst großem Umfang und so lange wie möglich als Biomasse genutzt werden.

Biomasse sollte so vielfältig wie möglich, so viel wie möglich und so lange wie möglich als Biomasse erhalten bleiben.

Workshop 1 – Biomasse als Nahrung für den Menschen

Vision: Nachhaltige Ernährungssysteme transformieren essbare und nicht-essbare Biomasse aus der Landwirtschaft und weiteren Bereichen der Primärproduktion (z.B. Aquakultur) in hochwertige Lebensmittel. Ziel ist Low Input – High Output entlang des gesamten Produktions- und Verarbeitungsnetzwerks unter maximaler Schonung von Ressourcen und höchster Effizienz – bis hin zur energetischen Verwertung als finalen Schritt des Stoffkreislaufes.

Workshop 2 – Stoffliche Nutzung von Biomasse als industrielle Rohstoffe

Vision: Nachhaltige Stoffnutzungssysteme transformieren Biomasse (z.B. Holz, Ackerfrüchte, Grünland) in universell verwendbare Ausgangsmaterialien für industrielle Zwecke (z.B. recycelbare Baumaterialien, aber auch biobasierte Kunststoffe). Ziel ist die möglichst lange Erhaltung der stofflichen Natur der Biomasse unter maximaler Schonung von Ressourcen und höchster Effizienz – bis hin zur energetischen Verwertung als finalen Schritt des Stoffkreislaufes.

Die Landwirtschaft erzeugt überwiegend nicht essbare Biomasse

1 kg veganes Lebensmittel erzeugt mindestens 4 kg nicht essbare Biomasse

Pflanzen- kulturen für die Human- ernährung	Ernteprodukte	vegane Lebensmittel	
		Nebenprodukte der Verarbeitung	Nicht essbare Biomasse
	Koppelprodukte (z.B. Stroh)		
	Zwischenkulturen der Fruchtfolge		
andere Pflanzen	absolutes Grasland (nicht ackerfähig, Deutschland 30 %, weltweit > 70%)		

Beispiele für Fragestellungen:

- Erhöhung der unmittelbare „Ausbeute“ an essbarer Biomasse (Pflanzenzüchtung, Pflanzenproduktion, Verarbeitungstechnologie)
- Identifikation und Behebung limitierender Kopplungen bei der Verwertung von Biomasse
- Quervernetzung mit Bereichen außerhalb der nutritiven Nutzung von Biomasse.

Vegane Lebensmittel sind Ausdruck einer optimierten Ausbeute an essbarer Biomasse

1 kg Hafer → 380 g im Haferdrink + **250 g Kleie** + **370 g Rest**

1 kg Soja → 200 g Öl + 470 g Protein + **80 g Schalen** + **250 g Rest**

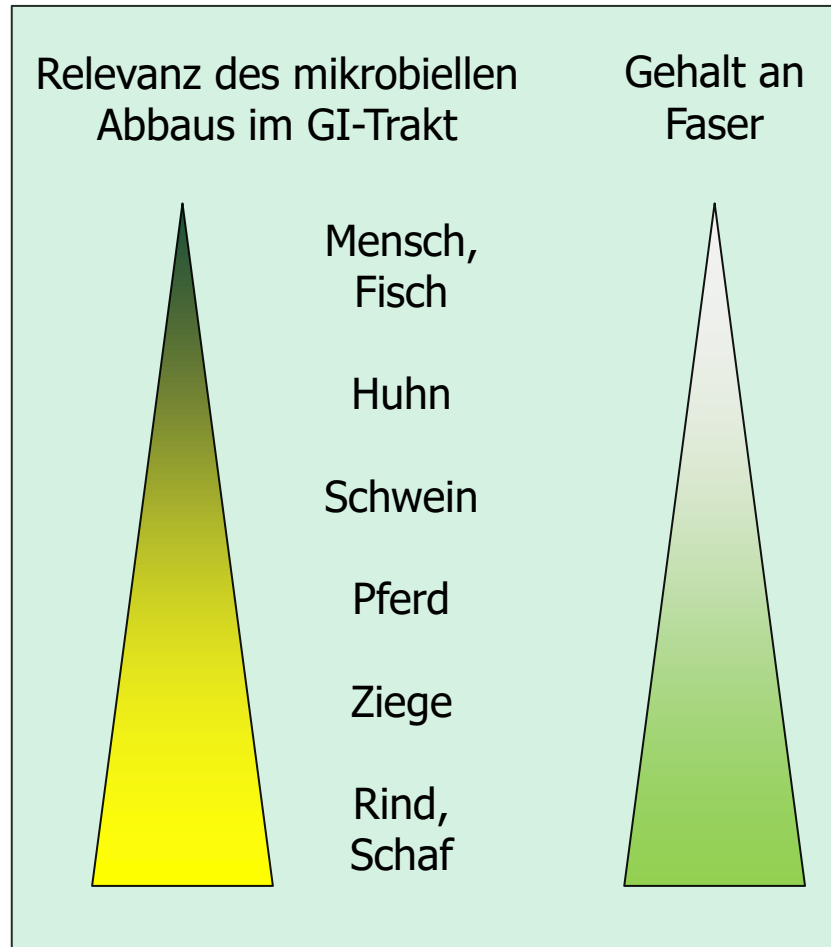
1 kg Lupine → 300 g Protein + **240 g Schalen** + **410 g Rest** + 50 g Öl (toxisch)

Vegane Lebensmittel erzeugen große Mengen an Tierfutter (nicht essbare Biomasse).

Verarbeitete vegane Produkte sind bioökonomisch interessant. Sie maximieren die Auftrennung der Biomasse in verschiedene Fraktionen für eine differenzierte Nutzung. Zusammen mit der Verfütterung der Nebenprodukte an Nutztiere wird ein Maximum an Lebensmitteln aus derselben Biomasse gewonnen.

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

nicht ganz richtig



Chloroplast
Thylakoidmembran
Stärkekorner
Vakuole
Tonoplast
Mitochondrium
Peroxisom
Zytoplasma
Plasmodesmen
Zellmembran
Zellwand
Zytoskelettfilamente
Golgi-Apparat
Golgi-Vesikel
glattes endoplasmatisches Retikulum
Ribosomen
Zellkern
Kernpore
Kernmembran
Kernkörperchen
raues endoplasmatisches Retikulum
kleine membranöse Vesikel

Von Translation by Muellercrtp - Image:Plant cell structure.svg.svg from Mariana Ruiz Villarreal, LadyofHats, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=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 die Speicherproteine in generativem Material (Körner, 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)

Aufhebung limitierender Kopplungen durch Separierung in unterschiedliche Qualitätsfraktionen

Beispiel: Gewinnung von hochwertigem Eiweiß aus Klee gras

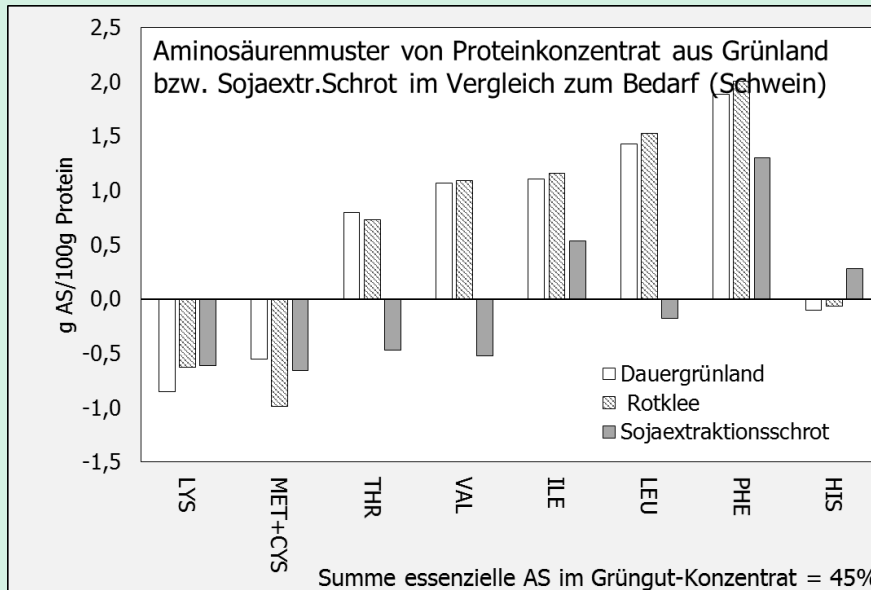
Kleegras
1000 g Trockenmasse
200 g Rohprotein

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 stoffliche Nutzung von Biomasse (Baustoffe, Funktionsstoffe)

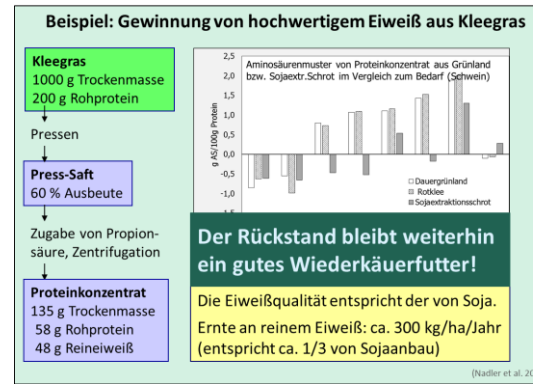


CC BY 1.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26110>

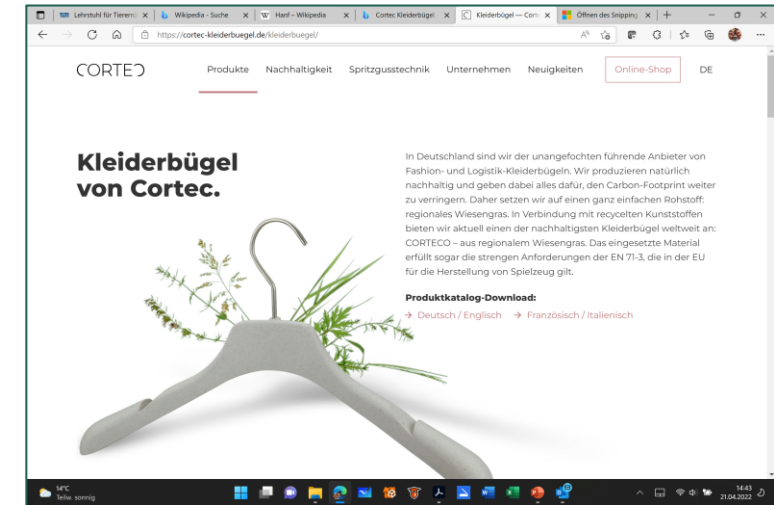


Von Frank Liebig - Archiv Frank Liebig, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50379958>

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, ...

Beispiele für quervernetzende Fragestellungen:

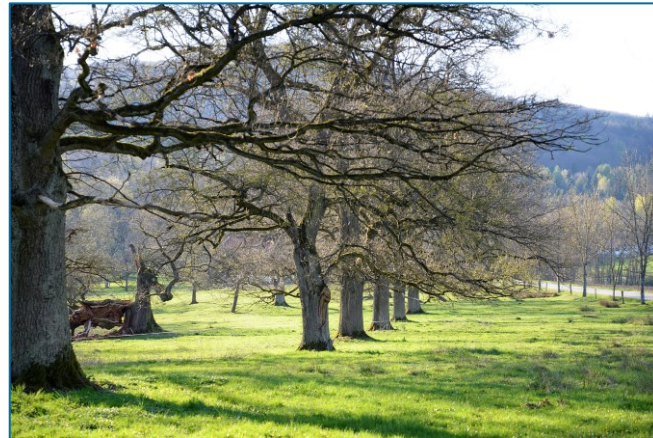
- Kann man aus Nebenprodukten der stofflichen Nutzung etwas zum Essen oder zum Füttern machen?
- Agroforstsysteme als Schnittstelle zwischen stofflicher und nutritiver Nutzung von Biomasse

Quervernetzung der stofflichen Nutzung in Richtung nutritiver Nutzung

... Hutweiden ...



Von Kotivalo - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48993131>



Von Hajotthu - Eigenes Werk, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13487997>

... Laubwiesen ...



Die Blätter von Laubbäumen (frisch sowie als „Laubheu“) können durchaus einen ansprechenden Futterwert für Wiederkäuer aufweisen (z.B. Linde,...)

Von Derzno - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48993131>

Von Katrin Hubner - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59404432>

Perspektiven der Kreislaufwirtschaft zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse aus der Primärproduktion

Kreislaufwirtschaft funktioniert erst auf der Ebene des Gesamtsystems

Biomasse ist ein höchst wertvolles Primärprodukt von Pflanzen (und Mikroorganismen) 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**