

Nachhaltige Prozesse

Chemische und physikalische Eigenschaften fester Biomasse

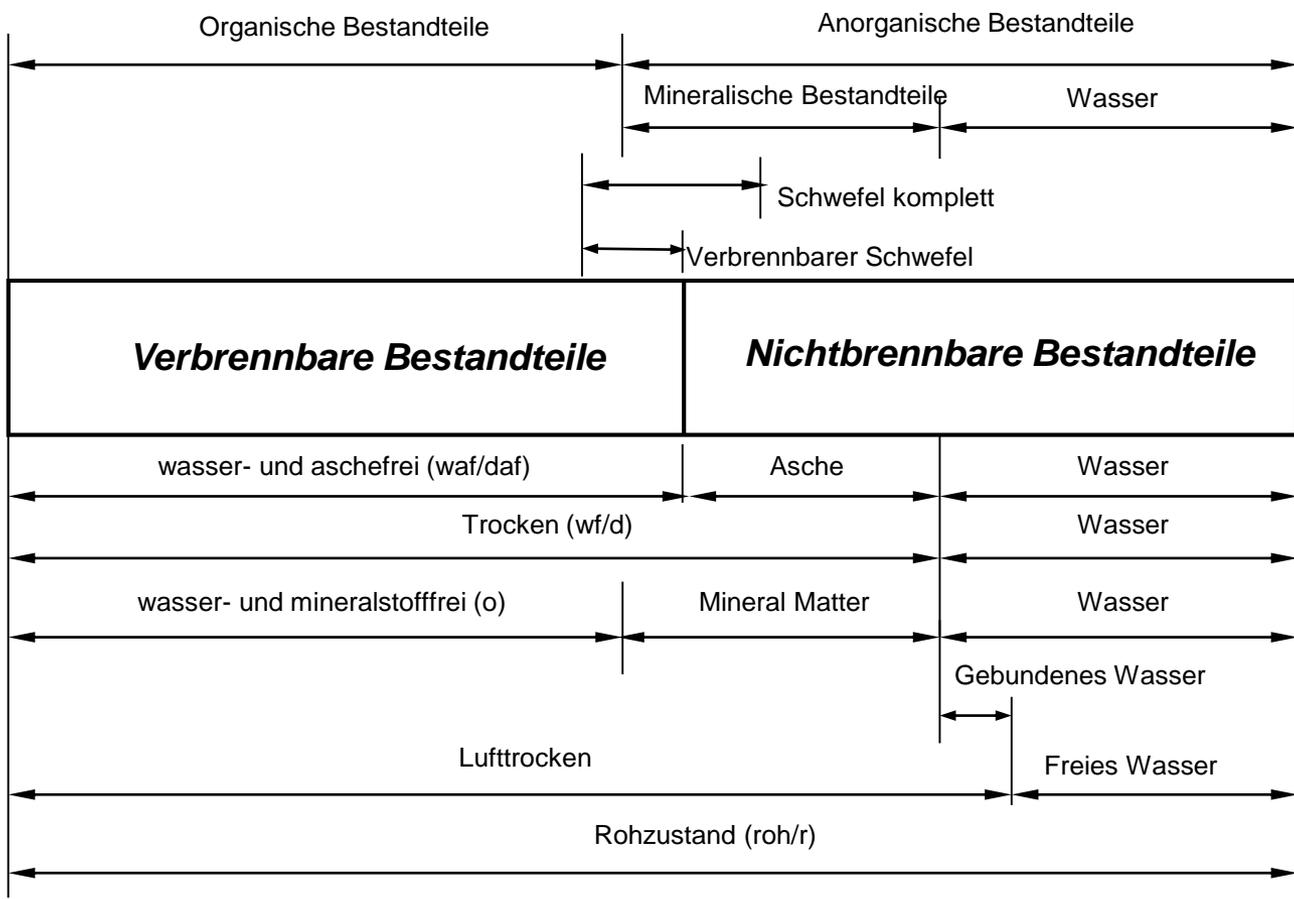
- Auszug aus dem Foliensatz -

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ortwein

Hochschule Merseburg

Sommersemester 2020

Woraus bestehen Brennstoffe?



Molekulare Zusammensetzung

Hauptbestandteile

- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin

Nebenbestandteile

- Proteine
- Fette
- lang- und kurzkettige Kohlenhydrate (z.B. Pektine)
- Harze
- usw

Molekulare Zusammensetzung

	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Summe
Nadelholz	41–42	22–24	29–30	93–95
Laubholz	40–48	18–27	22–26	88–95
Weizenstroh	38	29	15	82
Maisstroh	38	26	19	83
Hirse	23	14	11	48

Quelle: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009) Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage Springer-Verlag, Berlin

Molekulare Zusammensetzung

Typ CLH

fast alle Holzsortimente
haben Cellulose als
Hauptbestandteil und mehr
Lignin als Hemicellulose

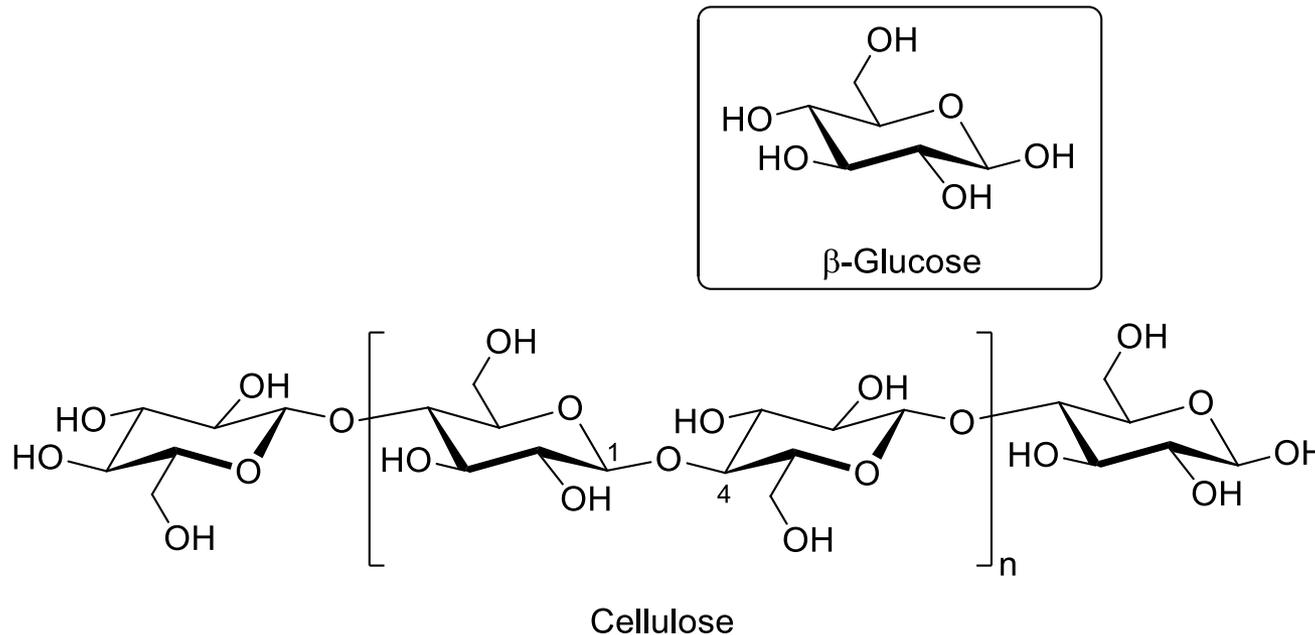
Typ CHL

Halmgutartige
Biomassen haben in der
Regel Cellulose als
Hauptbestandteil und
mehr Hemicellulose als
Lignin

Typ HLC/HCL

Hemicellulose ist meist
bei Laub, Nadeln sowie
Zweigen der
Hauptbestandteil

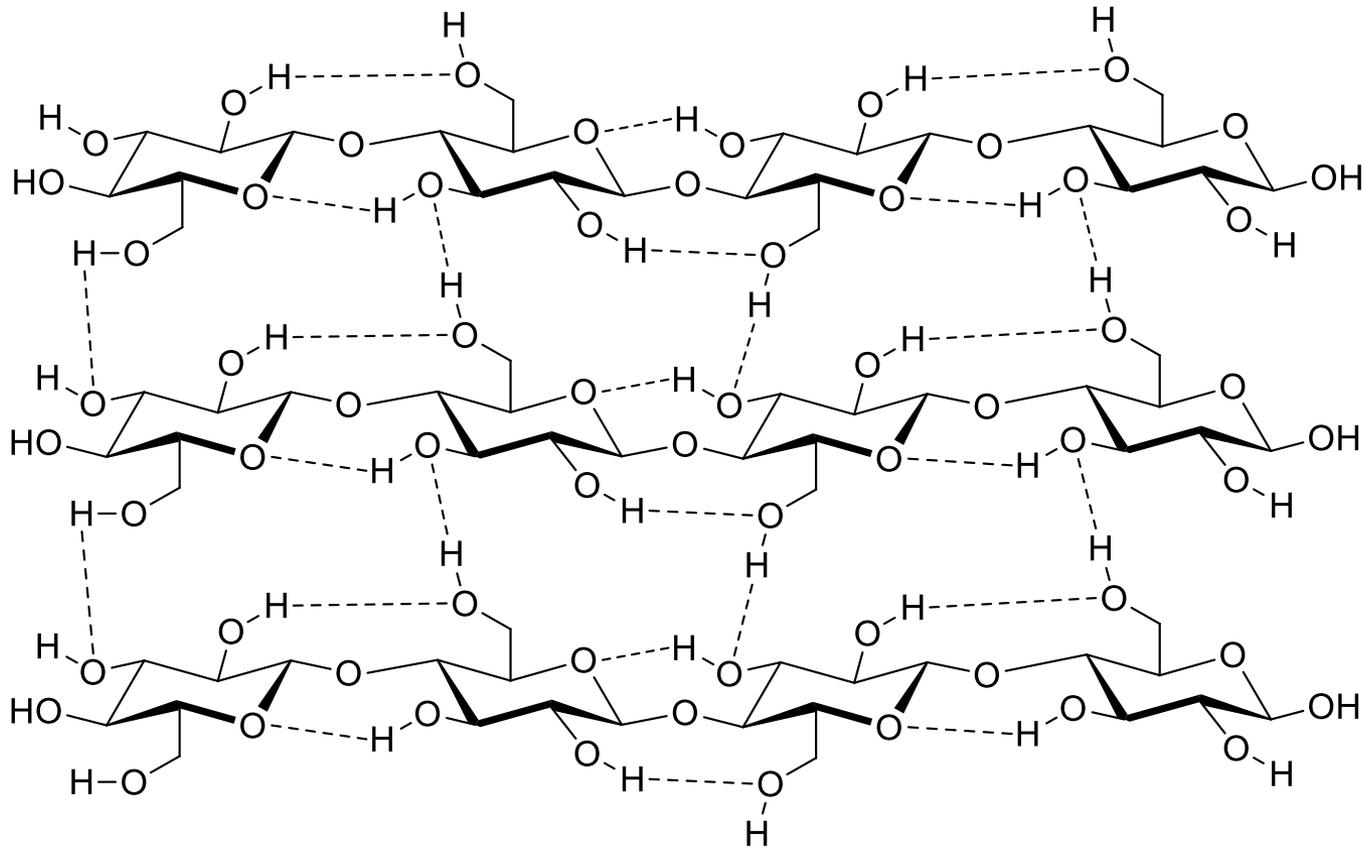
Polysaccharid Cellulose



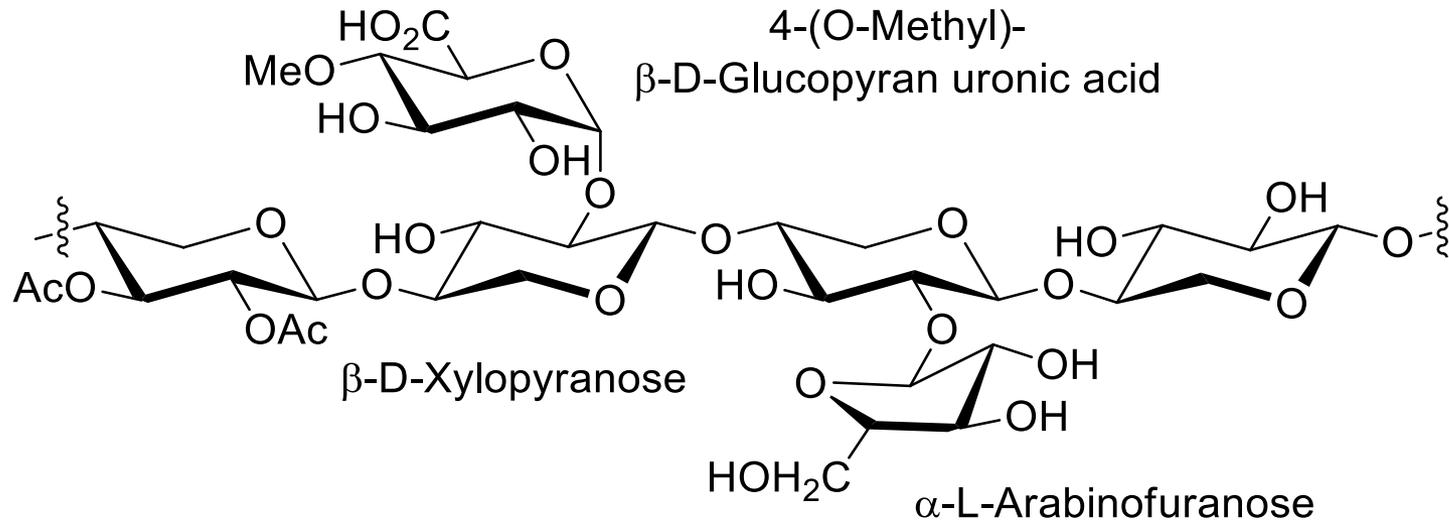
Eigenschaften von Cellulose

- lineares Homoglycan aus 1,4-verknüpften β -Glucopyranoseeinheiten
- 1,4-glycosidische Bindung
- bis zu 15000 Einheiten
- formaler Grundbaustein: Cellobiose-Disaccharid

Cellulose - Wasserstoffbrückenbindungen



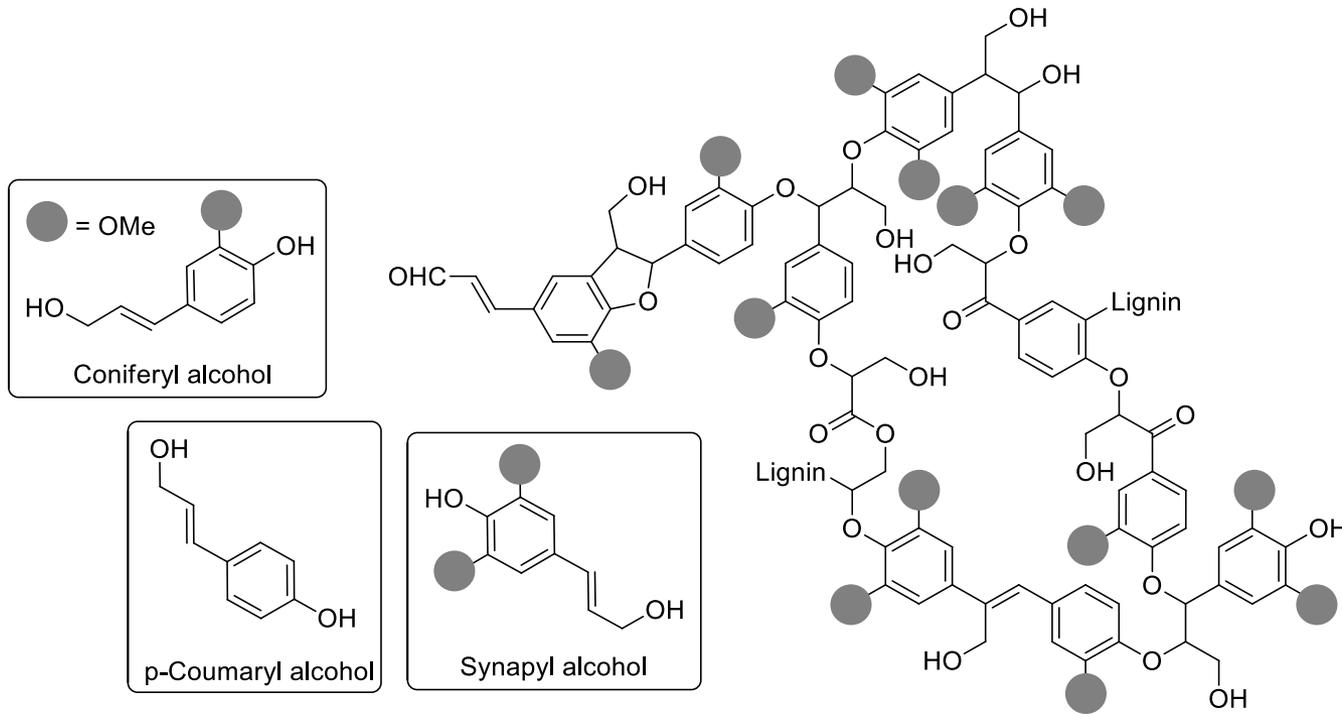
Hemicellulose



Eigenschaften von Hemicellulose

- verzweigtes Heteropolysaccharid
- aufgebaut aus verschiedenen Pentosen (Xylose, Arabinose) und Hexosen (Glucose, Mannose, Gallactose)
- Zum Teil sind Zuckerderivate eingebaut (Acetylierung, Methylierung, Uronsäuren)

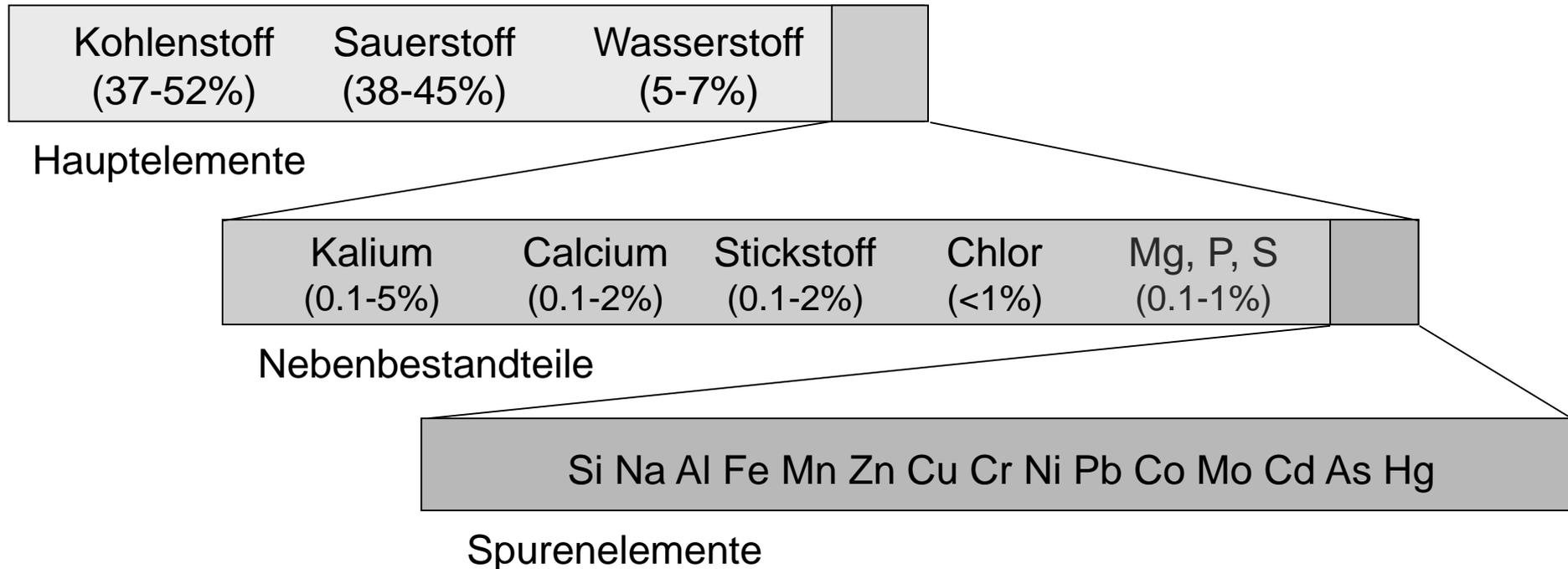
Holzstoff Lignin



Eigenschaften von Lignin

- verzweigtes, dreidimensionales Makromolekül
- aufgebaut aus drei verschiedenen Phenylpropaneinheiten (Coumarylalkohol, Coniferylalkohol, Synapylalkohol)
- hohe strukturelle Komplexität

Elementarer Aufbau der Biomasse



Die Hauptbestandteile von Biomasse (Cellulose, Hemicellulose, Lignin) unterscheiden sich in ihrer elementaren Zusammensetzung.

- Summenformel Cellulose: $\text{CH}_{1.7}\text{O}_{0.8}$ d.h. Sauerstoff:Kohlenstoff = 1:1.2
- Summenformel Lignin: $\text{CH}_{1.1}\text{O}_{0.4}$ d.h. Sauerstoff:Kohlenstoff = 1:2.7

Stickstoff, Phosphor, Schwefel

Makronährstoffe

Summenformel von Biomasse: $C_{106}H_{180}O_{45}N_{16}P_1$

Phosphor

Bestandteil von DNA und RNA und Lipiden, in Form von ADP, ATP, NADP(H) beteiligt an elementaren Biosyntheseprozessen (Photosynthese, Kohlenhydratstoffwechsel)

Schwefel

zur Biosynthese essentieller Aminosäuren, Bestandteil von Gewürz- und Abwehrstoffen (Zwiebel, Knoblauch, Stinktief)

Stickstoff

zum Aufbau aller Aminosäuren und der Nucleinsäuren, Bestandteil wichtiger Coenzyme, Teil der Porphyrinstruktur des Chlorophylls

Kalium, Silizium, Calcium, Magnesium

Kalium

Wichtiger Pflanzennährstoff, schützt die Pflanze vor Frost und Trockenheit, erhöht den Turgor (Zellinnendruck), verbesserter Gasaustausch, unterstützt mehrere Enzyme

Silizium

Hohe Gehalte insbesondere in halmgutartiger und krautiger Biomasse wie z.B. Stroh, Gräsern, Schachtelhalm, Brennnesseln, Funktion: Stabilität der Sprossachse, Einlagerung in Epidermiszellen (Verhärtung), passive Stützfunktion durch den Einbau amorpher Kieselsäure in die Zellwände, Brenohaare

Calcium /Magnesium

Wichtige Pflanzennährstoffe, Ca ist Antagonist des Kalium bei der Kontrolle des osmotischen Drucks, beteiligt an der Vernetzung der Pektine, wichtiger Bestandteil für die Funktionstüchtigkeit der Biomembranen und Cofaktor verschiedener Enzyme, Mg ist als Zentralatom des Chlorophylls wichtig für die Photosynthese

Brennstoffformen

Scheitholz

- preiswerteste
Aufbereitungsform

Holzhackschnitzel

- Zerkleinerung
ermöglicht
Dosierbarkeit und
verbessert
Transportierbarkeit

Holzpellets

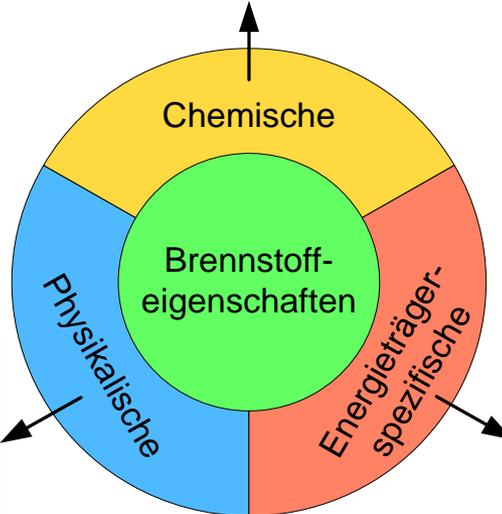
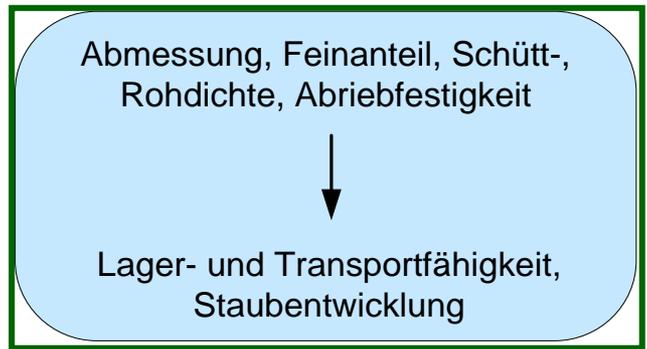
- Erhöhung der Schütt-
und Energiedichte
- Verringerung des
Feinanteils,
- Verhinderung der
Rohstoffentmischung
- Standardisierung der
Materialgröße

Brennstoffeigenschaften



Beeinflussung durch Aufbe-
reitungs- (Hacken, Häckseln) o.
Pelletierungsprozess

Beeinflussung durch Zugabe
von Additiven, weiteren
Rohmaterialien (Mischungen)



Physikalisch-mechanische Eigenschaften

Bedeutung

- Alternative Biomassen haben im Vergleich zu fossilen Brennstoffen geringere Energiedichten und heterogene physikalische-mechanische Eigenschaften.
- Wichtig bei Handhabung, Lagerung und Transport
- Ein erhöhter Feinanteil kann zu einem höheren Risiko einer Staub-explosion führen.

Kompaktierung

Ballen

Verbesserung von
Energiedichte und
Transportfähigkeit

Briketts

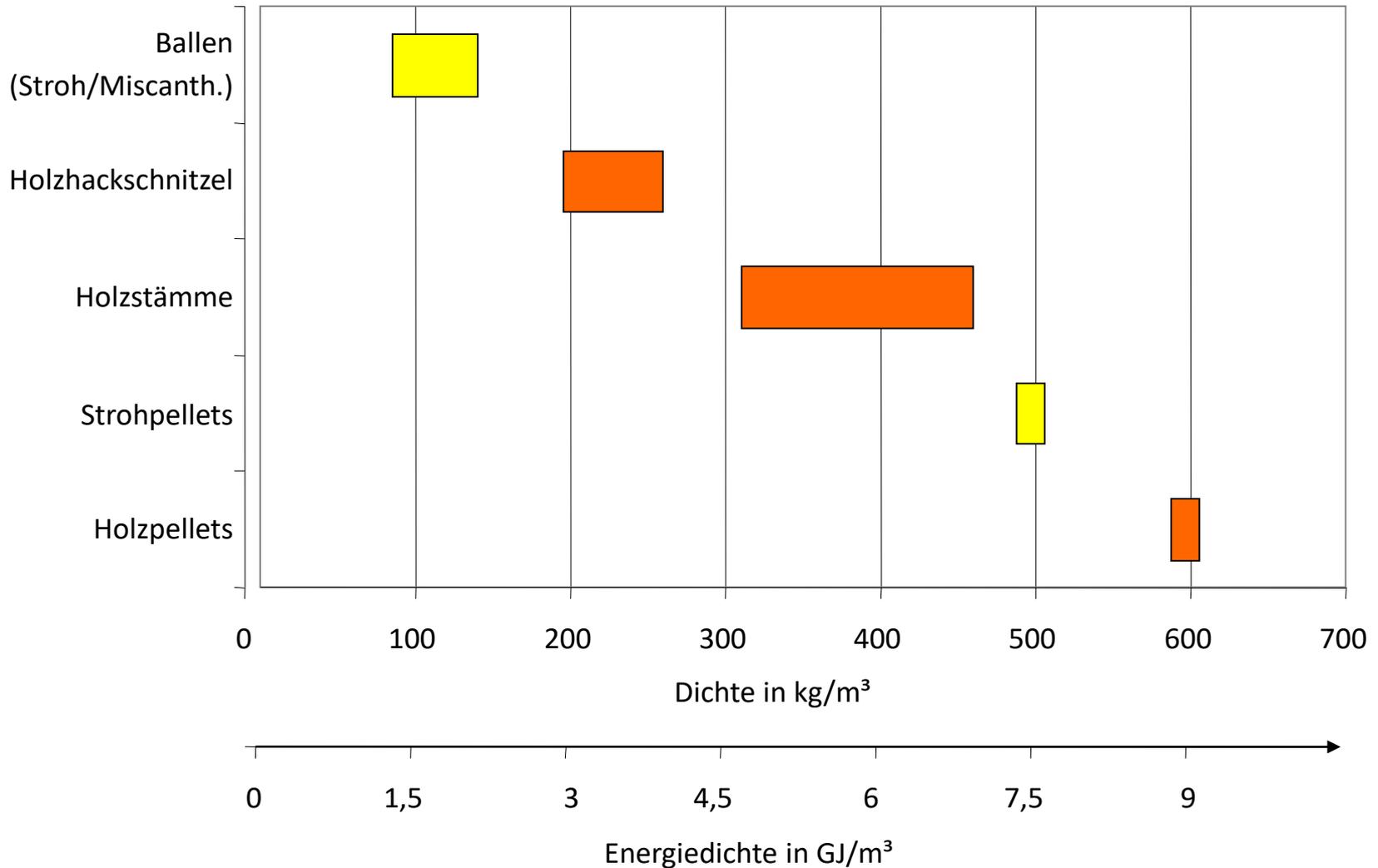
Deutlich höhere
Energiedichte

Verschieden
Brikettformen (Hohl-
zylinder, Quader usw.)

Pellets

Standardisierung der
Materialgröße,
Rieselfähigkeit
ermöglicht auto-
matische Beschickung

Dichte und Energiedichte



Chemische und energieträgerspezifische Brennstoffeigenschaften

- Immediatanalyse (auch Kurzanalyse) → technisch relevante Eigenschaften:
 - Wassergehalt
 - Aschegehalt, (Ascheschmelzverhalten → nicht Teil der Immediatanalyse)
 - Flüchtige Bestandteile
 - fixer Kohlenstoff
- Elementaranalyse (C, H, O, N, S)
- Energiegehalt (Heizwert/Brennwert)

Energieträgerspezifische Eigenschaften - Wassergehalt

Wassergehalt

- wichtiges Qualitätsmerkmale fester Biobrennstoff → direkter Einfluss auf Energiegehalt
- Wassergehalt ist definiert als der prozentuale Anteil von Wasser an der gesamten (feuchten) Biomasse.

$$M_{ar} = \left(\frac{\text{mass of water}}{\text{mass of wet material}} \times 100 \right) \%$$

- in Deutschland: für Scheitholz häufig auch die sogenannte Holzfeuchte → Bezugsgröße Trockenmasse.

$$U_d = \left(\frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry matter}} \times 100 \right) \%$$

Energiegehalt vs. Wassergehalt

Wassergehalt ist abhängig von

- Pflanzenart
- Erntezeitpunkt
- Lagerzeit und -bedingungen
- Vorbehandlung

Wassergehalt beeinflusst

- Energiegehalt
- Dichte
- Brückenbildung (Hackschnitzel)
- Mechanische Festigkeit (Pellets & Briketts)

Unterteilung der Brennstoffe nach Wassergehalt

Festbrennstoffe

Wassergehalt <50%

Einsatz in der
thermochemischen
Biomassekonversion

Feuchte Biomasse

Wassergehalt >60%

Einsatz in der
biochemischen
Biomassekonversion

Aschegehalt und Aschezusammensetzung

Biomasse	Aschegehalt in % der TM
Holz	< 1
Rinde	2-4
Stroh	4-12

Biomasse	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O
Holz	41.7	6.0	6.4	2.6	0.7
Stroh	7.8	4.3	14.3	2.2	0.4

Biomasseasche als Düngemittel?

- Nährstoffgehalte weichen von typischen Düngemittelzusammensetzungen ab (NPK 7-4-6, NPKMg 15-5-20-2).
- Hohe Calciumgehalte wirken der Bodenversauerung entgegen
- Gehalt an Schwermetallen entscheidend dafür, ob Aschen als Düngemittel verwendet werden können

Ascheschmelzverhalten

Probleme durch Verschlackung:

- Unvollständige Verbrennung
- Verstopfungen der Luftzufuhr
- Probleme an den Wärmetauschern durch Ablagerungen
- Probleme mit dem automatischen Ascheaustrag