

IBIT | INSTITUT FÜR BILDUNGSTRANSFER

Paper für Expert*innen

PROF. DR. JAN GROSSARTH-MATICEK

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

Stand 27.02.2023

„Das Werk, einschließlich aller Inhalte, insbesondere Abbildungen, Design, Videos etc., ist urheberrechtlich geschützt (Copyright). Das Nutzungsrecht liegt, soweit nicht anders ausdrücklich gekennzeichnet, bei der Hochschule Biberach. Dieses Skript ist nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Wer unerlaubt Inhalte kopiert, verbreitet oder verändert, macht sich gemäß § 106 ff Urhebergesetz (UrhG) strafbar. Er/ Sie wird kostenpflichtig abgemahnt und muss zusätzlich mit Schadensersatz rechnen.“

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	2
Nachwachsende Rohstoffe	3
1. Zusammenfassung	3
2. Vergrößerte Relevanz vor dem Hintergrund der Klimapolitik.....	4
3. Biogene Polymere	6
4. Holzbau und Klimapolitik	8
4.1. Holzressourcen aus dem Forst	9
4.2. Ressourcen der Zellstoff-Bioökonomie.....	10
4.3. Innovative Holzwerkstoffe	11
4.3.1 Zellstoff-Werkstoffe.....	11
4.3.2 Brettschichtholz und Brettsperrholz	12
4.4. Agrarische nachwachsende Rohstoffe.....	15
4.4.1 Gräser	15
4.4.2 Getreide.....	19
4.4.3 Weitere Rohstoffe	19
4.5. Ethisches Dilemma der Flächenkonkurrenzen	20
Literaturverzeichnis	22

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

Nachwachsende
Rohstoffe

1. ZUSAMMENFASSUNG

Nachwachsende Rohstoffe verbessern in der Regel die Umweltbilanzen des Bauens. Neben Vollholz spielen Brettschicht- und Brettsperrhölzer eine zunehmend große Rolle. Sie erweitern die Rohstoffbasis auf bislang baulich kaum genutzte Hölzer. Auch landwirtschaftliche Rohstoffe wie Gräser, Getreide und Stroh sind baustofflich relevant. Dieser Aufsatz gibt einen Überblick.

Zusammenfassung

2. VERGRÖßERTE RELEVANZ VOR DEM HINTERGRUND DER KLIMAPOLITIK

Nachwachsende Rohstoffe haben auch als Baustoffe Jahrhunderte bis Jahrtausende zurückreichende Anwendungsgeschichten. Ihre Bedeutung wurde infolge der Massenverfügbarkeit von mineralischen und fossilen Baustoffen wie Beton und Polystyrolämmstoffen in den vergangenen Jahrzehnten immer geringer. Doch durch ihre Eigenschaft als Kohlenstoffspeicher gibt es spätestens seit dem Pariser Klimaschutzabkommen Mitte der 2010er Jahre ein stark gestiegenes Anwendungs-, Forschungs- und Innovationsinteresse (Grossarth 2023).

Nachwachsende Baustoffe können beitragen, Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Das Kernziel ist es, die Erderwärmung auf „weit unter 2 Grad“ zu beschränken und global „Netto-Null-Emissionen“ von Treibhausgasen (THG) ab Mitte des 21. Jahrhunderts zu erreichen. Die daraus abgeleiteten Treibhausgasminderungsziele Deutschlands dürften **tiefgreifende Veränderungen der Wirtschaft insgesamt bedeuten**. Laut dem Bundesklimaschutzgesetz (2019) und Änderungen daran (2021) haben alle Sektoren verbindliche Treibhausgasminderungsziele bis 2030 zu erfüllen. Kommt es zu einer Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmengen eines Sektors, so hat das je zuständige Bundesministerium ein **Sofortprogramm** für weitere wirksamere Minderungen zu beschließen. Das wurde vom Bundesverfassungsgericht gefordert (2021). Volkswirtschaftlich verlangt der Gesetzgeber **bis 2030 Minderungen um mindestens 65 % des THG-Ausstoßes** gegenüber 1992, bis 2040 um mindestens 88 %, und bis zum Jahr dann 2045 „Netto-Null“. Nach 2050 sollen **negative Treibhausgasemissionen** erzielt werden (UBA 2022).

Global werden laut den Prognosen der Klimawissenschaft Emissionsminderungen den Hauptteil zum Erreichen der Ziele beitragen, technische Reduktionen der Emissionen wie Kohlenstoffspeicherung im Boden (CCS) einen weiteren – kleineren, und einen dritten der Rückgang von Emissionen durch Landnutzungsveränderungen (Rockström 2017).

Ein „Bausektor“ ist in der amtlichen Klimastatistik zwar nicht erfasst, was die Interpretation der Statistiken voraussetzungsvoll macht. Dieser Wirtschaftssektor findet sich einerseits im Sektor Industrie wieder – darin sind etwa Baustoffe enthalten –, entsprechend gelten Minderungsziele. Andererseits gibt es THG-Minderungsziele für den Bereich Gebäude, wobei im Kern der Heizbetrieb gemeint ist.

Weltweit werden dem Bau rund 40 Prozent der Treibhausgasemissionen zugerechnet. Hierbei tragen Bau und Betrieb von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden je etwa anteilig gleich viel zu den THG-Emissionen im Bauwesen bei, das signifikant höhere Einsparpotenzial aber besteht im Bereich der Bürogebäude (Röck et al. 2020). Neben vielen Minderungsansätzen verspricht der Einsatz **nachwachsender Rohstoffe**, dass Kohlenstoff in der Bausubstanz gebunden wird. In der Gesamtrechnung sind viele Faktoren ökobilanziell zu berücksichtigen, wie Substitutionseffekte, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen durch

Vergrößerte
Relevanz vor dem
Hintergrund der
Klimapolitik

vermehrte Nachfrage nach einem nachwachsenden Rohstoff, Änderung der Kohlenstoffspeichermengen im Boden durch vermehrte Entnahme etwa von Holz oder Stroh, oder dynamische Effekte dadurch etwa, dass nach der Ernte neue Pflanzen mit verändertem jährlichen Biomassenachwuchs wachsen. Auf die Details kann hier nicht eingegangen werden, diese Fragen werden intensiv in der Methodenliteratur der Ökobilanzierung diskutiert.

3. BIOGENE POLYMERE

Durch den Bedeutungsgewinn der nachwachsenden Rohstoffe erfahren Jahrhunderte bis Jahrtausende zurückreichende Baustofftraditionen, etwa von Schilf, Lehm oder Getreideschüttungen, wieder Interesse. **Mehr als drei Viertel der bewohnbaren Erdoberfläche** sind Wald, Weideland oder Savanne, also potenzielle Wachstumsregionen für Baustoffe (Unnerstall 2020, S. 68) – aber auch die Ozeane mit ihren Algen- oder Seegraskulturen kommen infrage. Die Biotechnologien verändern den Raum der Möglichkeiten.

Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen steht im Begründungszusammenhang mit der sogenannten Biologischen Transformation. Werkstoffchemisch betrachtet bedeutet dies, dass im Vergleich mit dem 20. Jahrhundert – insbesondere dessen zweiter Hälfte – insgesamt die Volkswirtschaft wieder mehr auf **polymerischen und elastomerischen Ressourcen** beruhen wird, der Anteil an Metallen hingegen rückläufig sein wird (Neugebauer 2019, S. 267). Dies sind neben Holz und agrarischer Biomasse neuerdings sogenannte Hochleistungskunststoffe wie **Hochtemperatur-Polymere und Biokunststoffe** oder Gemischtwerkstoffe aus nachwachsenden und petrobasierten Rohstoffen. Zellstoff- und ligninhaltige Biomasse ist deren wichtigste Basis.

Zu unterscheiden wäre die holzbasierte und die agrarbasierte Bioökonomie.

Erstere ist wie folgt definiert:

- „Die holzbasierte Bioökonomie nutzt den Rohstoff Holz (Stammholz, Kronenholz und gegebenenfalls Stockholz, Altholz aus vorausgegangener Nutzung) idealerweise **kaskadenförmig**. Hierbei werden die Veredelungsschritte immer weiter verfeinert (chemischer Aufschluss und Modifizierung) und **Reststoffe sowie Nebenprodukte aus den vorangegangenen Schritten für die nächste Stufe genutzt**. Erst am Ende dieses Prozesses steht dann sinnvollerweise die Nutzung der Reststoffe als Energieträger. **Primäres Ziel ist aber die stoffliche Verwendung von Holz** zum Beispiel zum Bauen, Wohnen oder für Papier und die damit einhergehende CO₂-Speicherung sowie zur Substitution fossiler Stoffe.“ Miletzky et al (2020), S. 52.

Vom Holz wie auch von nachwachsender Biomasse vom Feld oder Acker sind als Hauptbestandteile in der „Bau-Bioökonomie“ verwertbar:

- **Lignin**, das für die große Stabilität, insbesondere die Druckstabilität des Holzes verantwortlich ist; es ist verwendbar etwa als Inkrustierungssubstanz, wird als Basis für Bioasphalte oder Bioharze verwendet.
- **Zellulose**, welche die hohe Zugfestigkeit des Holzes begründet
- **Hemizellulose**, das ist das vermittelnde Element zwischen den Cellulosefibrillen und dem Lignin
- Hier kaum beachtet, aber zur Umwandlung in Harze, Klebstoffe, Holzschutzmittel biotechnologisch hoch interessant sind die

sogenannten **akzessorische Bestandteile** wie Terpene
(Harzsäuren, Terpentinöl), Wachse und Phytosterole

4. HOLZBAU UND KLIMAPOLITIK

„Die Bauwende muss gelingen, wenn wir überhaupt die Chance haben wollen, unsere Zivilisation am Leben zu halten“, sagte der Klimafolgenforscher Hans Joachim Schellnhuber im November 2021 (Schellnhuber 2021). Das ist eindrucksvoll, verlangt aber auch eindrucksvolle Innovationsleistungen in der Holzwerkstoffforschung und in der forstlichen und agrarischen Ressourcenbereitstellung. Der Holzbau basiert traditionell in großen Teilen auf der Verwendung von Konstruktionsvollholz, etwa für Tragwerke oder Dachbalken. Hier sind die **Härtegrade** ein Faktor für die Holzwahl, der Preis der andere. Während weiche Hölzer günstiger sind und forstwirtschaftlich im 20. Jahrhundert im Zentrum des Interesses standen, wurden und werden Harthölzer vorwiegend für den höherpreisigen Möbelbau verwendet. Holzwerkstoffe, die zu günstigen Preisen gewünschte bauliche Eigenschaften aufweisen und möglichst im Tragwerkbereich eingesetzt werden können, sind auch ein Hoffnungswert der internationalen Klimapolitik. Die CO₂-Speicherpotenziale wurden berechnet, wobei zugleich die nachhaltige Waldbewirtschaftung und die Kreislaufführung des Bauholzes über das Gebäudelebensende betont wird (Churkina 2020).

Tabelle 1 Brinell-Härte (N/mm²) von Hölzern. Q. Holzmann 2009, S. 90f.; Fachwissen Holz (2023).

Weichholz	
Balsaholz	2
Pappel	10-15
Fichte	12
Tanne	16
Kiefer	19
Douglasie	20
Mittelhartes Holz	
Birke	23
Eibe	30
Ulme	30
Hartholz	
Kirsche	31
Rotbuche	34
Robinie	48
Nussbaum	52
Bambusfaser*	61
Ebenholz	84

*gepresst als Hartholzersatz; botanisch ist Bambus ein Gras

Laut dem Weltklimarat (IPCC) gibt es andererseits auch verschiedene Stellschrauben, die dazu beitragen können, dass die Land- und Forstwirtschaft sich den **Ertragsrisiken des Klimawandels anpassen** lässt – und sie alle weisen **Bezüge zum Holzbau** oder baustofflichen Verwendungspfaden auf. Hierzu zählen Agroforstsysteme, landwirtschaftliche Diversifizierung (weitere Fruchtfolgen, agrarökologischer Feldfruchtmischanbau), aber auch eine Verringerung der Abholzung (IPCC 2022). Wichtig festzustellen ist, dass in allen vom IPCC veröffentlichten Szenarien für verbessert an den Klimawandel angepasste

Landflächen stets die globale Waldfläche in den kommenden Jahrzehnten deutlich zunehmen müsste. Aufforstung wird empfohlen und erwartet, denn so lassen auch CO₂-Emissionszertifikate die Forstwirtschaft vielerorts wirtschaftlicher werden. Eine wirtschaftliche Inwertsetzung aber auch eine erhöhte Holznutzung scheint hier geradezu notwendig.

4.1. Holzressourcen aus dem Forst

Wie groß aber sind die Holzressourcen, die nachwachsen werden oder können? Weltweit ist etwa ein Drittel der Landfläche oder **4,06 Milliarden Hektar Wald**, davon 45 Prozent tropische, 27 Prozent boreale Wälder. Damit gab es 2020 pro Mensch auf der Erde umgerechnet 0,52 Hektar Wald. 93 Prozent davon waren natürlich regenerierende Wälder, und **7 Prozent Plantagenwälder** – dies allerdings mit wachsendem Anteil, insbesondere in Asien. Zwar geht weiter Waldfläche zugunsten von Landwirtschaft oder Städte- und Infrastrukturwachstum verloren, doch die Rate des Waldverlustes nimmt seit 1990 ab (FAO 2020). In Asien und Europa wachsen die Waldflächen seit den 1990er Jahren wieder, in Südamerika und Afrika gehen sie hingegen deutlich zurück. Global verteilt sich die Ressource Holz zu 54 Prozent auf nur **fünf Staaten**:

- Die Russische Föderation (20 Prozent der globalen Holzressourcen)
- Brasilien (12 Prozent)
- Kanada (9 Prozent)
- die Vereinigten Staaten (9 Prozent)
- China (5 Prozent).

Das Flächenpotenzial für Aufforstung ist wissenschaftlich umstritten. Die sogenannte Crowther-Studie der ETH Zürich bezifferte das globale Flächenpotenzial an degradiertem Land, das ohne oder mit minimalen Landnutzungskonflikten in Waldflächen umwandelbar wäre, auf rund **900 Millionen Hektar** (Bastin et al. 2019). Das wäre annähernd so viel, wie die gesamte Landfläche der Vereinigten Staaten (983 Millionen Hektar) oder etwa 90-mal die deutsche Waldfläche (rund 11,4 Mio. ha.). Solche Aufforstung brächte, sagt die Crowther-Studie, die lokalen Wasserkreisläufe wieder in Ordnung, könne **lokale Wertschöpfung durch Holznutzung** ermöglichen, die Biodiversität lokal erhöhen – andererseits sind Nutzungskonflikte durch Nomaden zu erwarten, die auf den für die Studie ausgewerteten Satellitenbildern nicht sichtbar waren, und die die betreffenden Flächen traditionell als Weideland nutzen. Wo würden diese Bäume wachsen? In allen Erdteilen wäre ein Zuwachs der Waldflächen bis 2050 nötig, aber überproportional in den Vereinigten Staaten, in China, Indien, Brasilien und Kanada.

Ein anderer Ansatz, als die Aufforstung, ist es, die **Verbrennung von Holz zu Heizzwecken zu verringern**. Eine Elektrifizierung des Heizens wäre dafür notwendig, aber auch energieeffizientere (Kleinst-)Gebäude. In Asien, Afrika und Südamerika ist das Volumen des genutzten Heizholzes pro Kopf jeweils höher, als das genutzte Rundholz, in Afrika und Asien deutlich höher. **Etwa die Hälfte der Holzernnten wird global als Brennholz oder Holzkohle zum Heizen genutzt**. Das ist gewissermaßen eine „Sünde“ aus Sicht der zirkulären Bioökonomie.

Auch ist bei der Betrachtung künftiger Holzressourcen die zu erwartende Änderung der Artenzusammensetzung naturnaher Wälder aufgrund der klimatischen

Veränderungen zu beachten. Aus europäischen Wäldern wird, jenseits der alpinen Hochlagen und von Skandinavien, **die Fichte spätestens 2070 verschwunden** sein, und während auch die Buchenwälder im Rückzug sein werden, sollten die Eichenwaldanteile steigen. Mediterrane Eichenarten und kanadische Douglasien gelten als europäische Hölzer der erderwärmten nahen Zukunft. Als Begrenzender Faktor des künftigen Waldwachstums gilt vor allem der mangelnde Niederschlag, weniger die steigende mittlere Temperatur (Unsel 2017, S. 44).

Die Europäische Union förderte Anbau und Verwendung des Rohstoffes Holz maßgeblich im Rahmen des Förderprogramms „Horizon 2020“ (Forschung und Innovation Forst), zuletzt gab es dafür etwa 460 Millionen Euro (2015-2017). Hinzu kam etwa die EU-Holzbauinitiative „Build in Wood“ (2019-2023). Es wird hier in der Außendarstellung mit der eingängigen Zahl geworben, dass jeder Kubikmeter nachgewachsenen Holzes **eine Tonne CO₂** speichere. Holz sei im innovativen Sinne ideal als Baustoff für die Vorfertigung großer Bauteile, es trage zur Abfallverringerung im Bauwesen bei, habe ein gutes Verhältnis von Gewicht zu Festigkeit – und die Europäischen Wälder wachsen bereits seit Jahren zu: Sie lieferten dadurch im Mittel um mehr als **800 Millionen Kubikmeter Holz im Jahr**. (EU 2023)

Die nachhaltige Waldbewirtschaftung soll durch etablierte Zertifikate wie das Forest Stewardship Council (**FSC**) sichtbar und marktgängig gemacht werden und wird es seit vielen Jahren. Mehr als zwei Drittel der deutschen Waldfläche sind nachhaltigkeitszertifiziert. Das FSC-Siegel war eines der ersten Nachhaltigkeitszertifikate überhaupt.

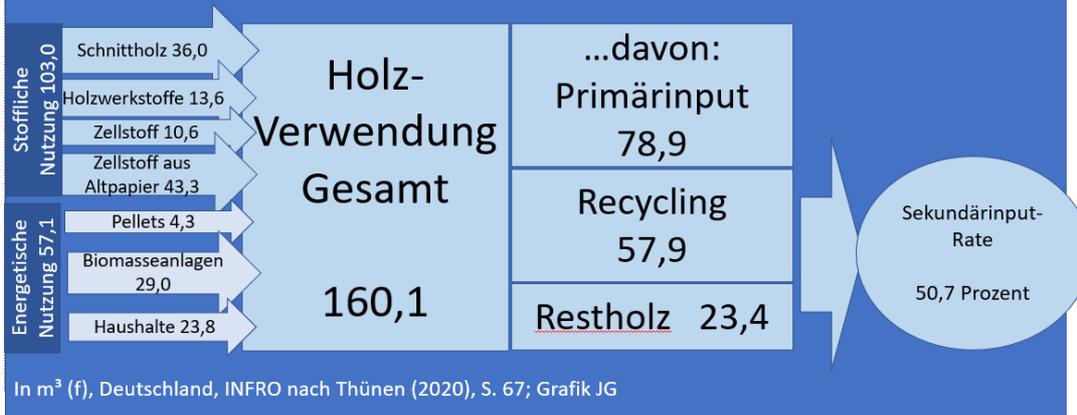
4.2. Ressourcen der Zellstoff-Bioökonomie

Das Ressourcenpotenzial der deutschen Bioökonomie insgesamt wird vom Thünen-Institut erfasst. Hier ist festzustellen, dass der **Biomasseertrag der Äcker und Weiden** deutlich höher ist als der Wälder. Die entnommene agrarische Trockenmasse beträgt 137 Millionen Tonnen, die der Forst hingegen nur 48 Millionen Tonnen. Allerdings wird der Großteil der agrarischen Ernte als Futtermittel (65 Prozent oder 89 Millionen Tonnen) verwendet, weshalb die stoffliche Nutzung des Holzes anteilig deutlich größer ist (71 Prozent oder 34 Millionen Tonnen Trockenmasse). Die energetische Nutzung der Biomasse lag 2015 in Deutschland insgesamt bei 26 Prozent oder 48 Millionen Tonnen Trockenmasse (Bringezu et al. 2020).

Auch wäre die Nutzung der Recycling-Stoffströme zu verbessern. Recycling-Holz trägt schon heute mehr als die Hälfte der Menge der Rohholz-Verwendungen aus dem Forst bei. Der Mengenverhältnis vom Recycling- zum Rohholz-Input beträgt 57 Prozent (CESR 2020). Der Anteil an Kaskadennutzung ist in Deutschland schon als vergleichsweise hoch zu betrachten. Rund 50 Prozent des verarbeiteten Holzes wird vor der Verbrennung oder Kompostierung nochmals stofflich genutzt, also dem „Downcycling“ oder Recycling zugeführt. „Die Werte zeigen, dass die **kaskadenförmige Verwertung von Holz in Deutschland bereits einen hohen Stand** erreicht hat.“ (Ebd., S. 67) Bezogen auf Recyclingmöglichkeiten wird im **Altholz** ein großes Potenzial gesehen, aber es gibt auch große Schwierigkeiten wegen Formaldehyd- und anderer Kontaminationen. Auch steckt etwa in der stark wachsenden Anzahl von **Rotoren von Windkraftanlagen** Potenzial, die auch aus großen Mengen Balsaholzes gefertigt sind (Mamanpush et al. 2023).

Holznutzung

Deutschland, 2015



4.3. Innovative Holzwerkstoffe

4.3.1 Zellstoff-Werkstoffe

Holzressourcen und Roh- und Reststoffe der holzbasierten Bioökonomie sind nicht nur für den Holzbau anwendbar. Auch andere Sektoren begehren danach. Insbesondere dürften die roh- und reststofflichen Sektorenverbindungen von der Papier- in die Baubranche künftig zunehmen. In Innovationsstudien nennt die Papierindustrie selbst etwa baulich nutzbare **Papier-Werkstoffe** wie:

Honigwaben-Sandwichkerne für den Leichtbau, deren Geruchsabsorbtionsfähigkeit und Schallschutz hervorgehoben werden (Papiertechnische Stiftung (PTS) 2015:)

- sehr feste nanofibrillierte **Cellulose**
- Fassadendämmungen aus witterungsfestem Papier
- papierene PV-Modulträger für Dächer
- Beton, der durch Papierfasern bewehrt ist („Papierbeton“)

Bauen mit Papier ist in kleineren Einzelfällen bereits als Tragwerk, etwa in einem japanischen Gartenpavillon, erprobt; größer skalierbare Anwendungsfelder werden erwartet (Knaack 2022). Wie diese Innovationen aus Sicht des zirkulären Ideals der Sortenreinheit und Trennbarkeit zu bewerten sind, wird sich zeigen. Weitere holzbasierte Innovationen sind Klebstoffe und Kunstharz aus **Lignin**.

Innovative
Holzwerkstoffe
Zellstoff- Werkstoffe

4.3.2 Brettschichtholz und Brettsperrholz

Verschiedenen innovativen Holzwerkstoffen wird besondere Leistungsfähigkeit zugesprochen. Das ist etwa CLT (**Cross Laminated Timber**) oder Brettschichtholz, welches aus kreuzweisen verleimten Brettern besteht. Sie sind nicht nur im Massivholzbau oder für Deckenkonstruktionen einsetzbar, sondern auch im Verbund mit Beton als Hybriddecken. Brettsperrholz hingegen besteht aus parallel verleimten Brettern. Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL) sind verleimte dünne Holzschichten. Unter dem Gesichtspunkt der Trennbarkeit und Sortenreinheit ist auch das genagelte Brettstapelholz (NLT) interessant, wenn es auch seltener verwendet wird als die anderen drei Werkstoffe.

CLT wird geradezu als „Game Changer“ bezeichnet. Durch innovative verklebte Hölzer eignet sich auch Laub- und dünnstämmigeres Weichholz für die Errichtung konstruktiver Wände, von Decken- und Dachelemente bis nach Herstellerangaben zu 16 Meter Länge, 3,45 Meter Breite, 35cm Dicke mit Festigkeitsnorm C24, wobei formaldehydfreie Klebstoffe verwendet würden (Storaenso 2021). Das angeblich weltweit **erste Gebäude, das aus Laubholz-CLT** errichtet und 2017 eröffnet wurde, war das Maggie`s Cancer Care Centre im britischen Oldham. Für das Brettsperrholz wurde das Holz vom **Amerikanischen Tulpenbaum** verwendet, eine Magnolienart. Das daraus gefertigte Material weist ein besseres Verhältnis der Zugfestigkeit zum Materialgewicht auf als Beton und Stahl (Americanhardwood 2023). Später wurde, ebenfalls in Großbritannien, die Kingsdale School Sports and Music Hall errichtet. Eine frühe CLT-Dachkonstruktion erhielt ein Wintergarten im britischen Sheffield schon im Jahr 2007 (PRS 2023). Ein im Kontext einer herausragenden architektonischen Gesamtleistung beachtetes „späteres“ Tragwerk aus CLT erhielt etwa das 2020 errichtete Museum „Andersen Hus“ im dänischen Odense.



Abbildung 1 Foyer des Andersen Hus. Foto Jan Grossarth.

Auch Hochhäuser werden weltweit seit einigen Jahren aus CLT errichtet. Zu nennen sind etwa Mjostarnet (2019) in Norwegen, das 85,4 Meter hoch ist (Dach & Holzbau 2019) oder das Wohnhochhaus Woho in Berlin Kreuzberg, in Holz-Hybridbauweise mit **geplanten 100 Metern Höhe** (UBM 2022).

CLT-Holz bietet im Vergleich mit Massivholz auch für tragende Bauteile viel-etagiger Bauwerke vielversprechende Nutzungsoptionen. Vor allem aber erweitert es die Rohstoffbasis. Seit Anfang der 2010er Jahre stehen vor allem **Birke und Buche** im Fokus entsprechender Forschung über CLT-Anwendungen. Gelegentlich kam auch Tulpenbaum zum Einsatz, der im amerikanischen Yellow Poplar heißt (Espinoza und Buehlmann 2018) Nur wenige Forschungsarbeiten untersuchten die KUP-geeignete Pappel, insbesondere die „Robusta“ wurde hier erforscht – allerdings manchmal gekreuzt verklebt mit anderen Arten wie etwa der Walnuss oder Kastanie, wodurch sich etwa die Nutzung solcher Hölzer aus Agroforstsystemen in Wert setzen ließe (ebd.).

Während sich die Produktion von CLT weltweit noch überwiegend auf Mitteleuropa und Skandinavien konzentriert, wo es auch entwickelt wurde, wird angenommen, dass der größte Teil des Wachstums ab den 2020er Jahren außerhalb dieses Kontinents stattfinden wird. Noch wird das CLT weit überwiegend aus **Fichte, Kiefer, Lärche und Douglasie** hergestellt, aber es ist ein steigendes Interesse an der Verwendung von Laubholzarten zu verzeichnen (Espinoza 2018). So fertigt der österreichische Hersteller **Pollmeier in Eisenach** seit einigen Jahren Buchen-Furnierschichtholz und vermarktet sie als „Baubuche“. Hasslacher Norica, ein österreichisches Forstproduktunternehmen, hat in Lemberg, Österreich, ein Haus mit Birken-CLT gebaut. Und Waugh Thistleton, ein Architekturbüro in Großbritannien, ließ eine Fabrik und den Hauptsitz des Möbelbüros Vitsoe aus Buche CLT errichten.

Es gibt auch ökologische und langfristige ökonomische Erwägungen, die für eine vermehrte Nutzung von Laubholz sprechen. Das ist etwa die veränderte Zusammensetzung einiger Wälder in Mitteleuropa, wo zunächst die Buche, dann Eichenarten zunehmen auftreten sollen. Eben solches CLT-Holz oder, englisch, Glulam, wird – wie oben gesagt – auch von der Klimawissenschaft als „Game Changer“ für den Holzbau im Wettbewerb mit dem Beton angesehen. In Asien wird vor allem **CLT mit Bambus-Anteilen** eine große Zukunft zugesprochen. Der ist botanisch eigentlich ein Gras und wächst vielfach schneller als Waldbäume.



Abbildung 2 Pappel: Geeignet für höhere Aufgaben? Foto Institut für Holzbau der Hochschule Biberach

4.4. Agrarische nachwachsende Rohstoffe

Nicht nur die erwähnte insgesamt größere Verfügbarkeit von Rohstoffen von „Feld und Acker“ ist ein Argument für die zunehmende baustoffliche Nutzung. Die **stoffliche Nutzung der agrarischen Rohstoffe** – etwa für die Bioplastik-Erzeugung oder chemische Grundstoffproduktion – ist in Deutschland gegenwärtig je nach Feldfruchtartklasse sehr unterschiedlich hoch, sie beträgt bei:

- Getreide **10 Prozent** (ggü. 60 Prozent Tierfutter, 8 Prozent Energie)
- Zuckerrüben **3 Prozent** (ggü. Energie 10 Prozent)
- Ölsaaten: **28 Prozent** (ggü. Energie 34 Prozent)

Baustoffliche Nutzungen haben einerseits Tradition, andererseits Innovationselemente. Die folgenden steckbriefartigen Übersichten können nur selektive Eindrücke vermitteln, welche agrarischen Rohstoffe relevant sind, und – am Beispiel der ersten beiden – unter welchen Aspekten ihre Vor- und Nachteile zu diskutieren wären:

4.4.1 Gräser

4.4.1.1 Weidelgras (engl. ryegrass)¹

Bestandteile: Für bauliche Zwecke ist der Hauptbestandteil **Graszellulose** interessant – das Gras enthält zu etwa 50 Prozent Zellulosefasern. Koppelprodukte sind Tierfutter, Aminosäuren.

Hauptverwendung im Bau: Das Interesse an diesem massenrelevanten **Naturfaserdämmstoff** steigt derzeit (Rüther 2022). Getrocknet für Schütt- oder Einblasdämmstoffe; Baustoffklasse nach DIN 4102: B2. Geeignet auch für Vliese, Schallschutzplatten. Auch Biopolymere auf Grasfaserbasis eröffnen zahlreiche Anwendungsgebiete. Für die Herstellung der Dämmplatten wird in der Regel Bindemittel verwendet. Zellstoffbewehrung für Putze oder Beton, oder als Spritzguss-Polymer. „Aufgrund ihrer langen, von zahlreichen parallelen Gefäßbündeln der Länge nach durchzogenen und faserreichen, festen Blätter ist die Futterpflanze schon zu Beginn des 20. Jhd. als Faserpflanze und Rohstoff für die

Gräser

Weidelgras (engl.
ryegrass)

¹ Quellen: Holzmann (2009), S. 244ff; FNR 2009; https://nachhaltige-beschaffung.fnr.de/fileadmin/nawaro-kommunal/dateien/pdf_317-brosch_daemmstoffe2009.pdf; Baunetzwissen 2023a: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/wiesengras-746408>; LfL 2023, <https://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/022269/>; UBA 2022, <https://www.umweltbundesamt.de/bild/gesamtflaeche-von-dauergruenland-anteil-an-der-0>; THessen 2023, <https://www.technologieland-hessen.de/bp-biowert>; Rüther, Norbert. "Naturfaserdämmstoffe." Bauphysik Kalender 2022: Holzbau (2022): 121-137.; LfL 2022, <https://www.lfl.bayern.de/verschiedenes/presse/pms/2022/309222/index.php>; Bayer 2023, https://agrar.bayer.de/Agrar%20Magazin/Weidelgras_Verbreitung_in_Deutschland; Marcar, N. E. "Salt tolerance in the genus Lolium (ryegrass) during germination and growth." Australian Journal of Agricultural Research 38.2 (1987): 297-307.

Papierherstellung und für Flechtwerke beschrieben.“ (Holzmann, 2009 S. 246) Wärmeleitfähigkeit λ : 0,040 W/(mK), Rohdichte ρ : 35-50 kg/m³ (freiliegend), 40-65 kg (eingeblesen), Wasserdampfdiffusionswiderstand μ : 1–2 (Baunetzwissen 2023a). Dämmstoff in Schütt-, Ein- oder Aufblasdämmung. Etwa als Zwischensparrendämmung, Innendämmung, Wanddämmung in Holzrahmenbauweise, Decken- oder Bodenplattendämmung. Wiesengras-Dämmschüttung aus 85 Prozent aus Grasfaserzellstoff, 5 Prozent Borsalz, 10 Prozent Wasser. Das **Borsalz** verbessert den Brandschutz, ist aber von der Europäischen Kommission als Besorgnis erregend nach REACH-Verordnung – reproduktions-toxisch – eingestuft (Bestandteile Borsäure und Borax).

Deutsche Anbaufläche (ha): Im Jahr 2021 waren 28,5 Prozent der deutschen landwirtschaftlich genutzten Fläche oder 4,7 Millionen Hektar Dauergrünland (UBA 2022). Es dient vor allem der Grasgewinnung für die Rinderfütterung oder der Weidewirtschaft. Der Anteil des Bewuchses mit Weidelgras ist nach meinem besten Wissen nicht erfasst. Erste Industrieanlagen fertigen aus Wiesengras sogenanntes Bioplastik, so etwa im Odenwald (Thessen 2023). *Globale Anbaufläche (ha)*: Nicht bekannt. *Länder mit den höchsten Anbaumengen*: Weidelgras wächst in großen Mengen in Deutschland selbst. Saatgut kommt auch etwa aus Dänemark.

Hektarertrag (t): 28 t im Jahr bei drei Ernten, das ergibt 8,5 t Trockensubstrat und halb so viel Graszellulose. *Ökologisierungsbeträge*: Grasbewuchs mindert im Vergleich mit dem Ackerbau die **Bodenerosion**. Intensiver Anbau mit mehrmaligen jährlichen Stickstoffdüngergaben reduziert jedoch den Artenreichtum an Pflanzen und Insekten. Im Ackerbau gilt Weidelgras als „Ungras“ und wird chemisch „bekämpft“ (Bayer 2023). *Trockenresistenz*: Die Erhöhung der Resistenz des Grases gegen Trockenstress ist ein Ziel der Zuchtforschung (LfL 2022). Es ist in gewissem Maße salztolerant (Marcar 1987).

Recyclingpotenzial: Wird das Dämmmaterial trocken gehalten, ist es immer wieder verwendbar. Die Flammenschutzbehandlung mit Borsalz reduziert die organische Kompostierbarkeit und Wiederverwendung des Materials als Pflanzendünger. Aber es gibt bereits etablierte Verfahren, die auf Borsalz verzichten und ausschließlich mit Fermentierungsverfahren arbeiten, etwa Imprägnierungen mit Molke und / oder Soda (FNR 2009). *Ökobilanz CO₂Äq*: Haltbarmachung durch Silierung (Milchsäuregärung) ist nicht energieintensiv. Waschung und *Trocknung können die Energiebilanz verschlechtern*.

4.4.1.2 Bambus²

Bestandteile: Zellulose und andere Kohlenhydrate ca. 68 Prozent, 25 Prozent Lignin.

Hauptverwendung im Bau: Derzeit noch meist im **Innenausbau**, etwa für Türen, Böden, Möbel, oder als Kunststoffverbundwerkstoffe für den Außenbereich, etwa Terrassenböden (Baustoffwissen 2016). In Asien nicht nur als Baugerüst, sondern vor allem zur Parkettfertigung (aus Moso-Bambus), gepresst als Bauholz: Bohlen, Bretter; Insektizidresistenz wird traditionell auch durch Räuchern oder Kochen erreicht. Stark steigende Bedeutung als Brettschichtholz oder Brettsperrholz, etwa in Verbindung mit dem Holz der Hemlocktanne (Wie et al. 2019) oder in anderen Varianten (Yan et al. 2022). Anwendung des **Bambus-Brettschichtholzes** (Glulam) im Tragwerk, als Balken, dürfte stark zunehmen, sieht sich aber noch holzprozesstechnischen Herausforderungen gegenüber (Kumar, Mandal 2022). Aktuelle Forschungsanliegen sind etwa die Frage, wie die **schwierige Verklebbarkeit** des Bambus zu verbessern sei; so konnten durch Bleichungen oder sogenannte Plasmabehandlungen die Benetzbarkeit und auch die Klebeleistung erhöht werden (Nkeuwa et al. 2022).

Deutsche Anbaufläche (ha): Keine oder nicht nennenswert. Wegen des langsamen Wachstums nicht lukrativ. *Globale Anbaufläche (ha) :* Weltweit gab es 2005 rund 36 Millionen Hektar Bambuswald, das waren rund **3,2 Prozent der weltweiten Waldfläche** (FAO o. D., S. 12). *Länder mit den höchsten Anbaumengen:* Indien, Brasilien, China, Nigeria, Indonesien.

² Quellen: Holzmann (2009), S.73-106; FAO (o. D.), Extent and characteristics of bamboo resources, <https://www.fao.org/3/a1243e/a1243e03.pdf>; van der Lugt, Pablo, Trinh ThangLong, and Charlotte King. "Carbon sequestration and carbon emissions reduction through bamboo forests and products." (2018); Bambubatu 2023, <https://bambubatu.com/drought-tolerant-bamboo-for-dry-climates/>;

Wu, Min, et al. "The moso bamboo drought-induced 19 protein PheDi19-8 functions oppositely to its interacting partner, PheCDPK22, to modulate drought stress tolerance." *Plant Science* 299 (2020): 110605.: Baustoffwissen 2016,

<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/energetisches-bauen/bambus-baustoffe-parkett-terrasse-fassadendiele-furniere-innentueren/>; Dev, Inder, et al. "Bamboo-based agroforestry system (Dendrocalamus strictus+ sesame–chickpea) for enhancing productivity in semi-arid tropics of central India." *Agroforestry Systems* 94 (2020): 1725-1739; Akoto, Daniel S., et al. "Towards bamboo agroforestry development in Ghana: evaluation of crop performance, soil properties and economic benefit." *Agroforestry Systems* 94 (2020): 1759-1780; Solomon, T., et al. "Promoting bamboo-based agroforestry for enhancing ecosystem services from degraded lands." *Agroforestry for Degraded Landscapes: Recent Advances and Emerging Challenges-Vol. 2* (2020): 423-444; Kumar, Deepak, and Apurba Mandal. "Review on manufacturing and fundamental aspects of laminated bamboo products for structural applications." *Construction and Building Materials* 348 (2022): 128691; Nkeuwa, William Nguegang, et al. "Bamboo-based composites: A review on fundamentals and processes of bamboo bonding." *Composites Part B: Engineering* (2022): 109776; Yan, X. I. A. O., et al. "Research progress of cross-laminated timber and bamboo (CLBT)." *Journal of Building Structures* 43.11 (2022): 126; Wei, Peixing, et al. "An exploratory study of composite cross-laminated timber (CCLT) made from bamboo and hemlock-fir mix." *BioResources* 14.1 (2019): 2160-2170; NL Agency (2013), *Bamboo Analyzing the potential of bamboo feedstock for the biobased economy.*

Hektarertrag (t): Sehr unterschiedlich nach Anbauland, Bambusart, Erntefrequenz. Zwischen 4 und bis zu 26 Tonnen Trockenmasse pro Jahr und Hektar (NL Agency 2013). Ernte bei geläufigen Sorten alle 4 Jahre (Moso-Bambus).

Ökologisationsbeiträge: Ernte noch überwiegend kleinbäuerlich, aber Industrialisierung des Anbaus bringt ökologische Risiken. Bambus ist geeignet um **degradiertes Land zu kultivieren** und die Böden zu verbessern (Solomon et al. 2020), was in vielen Ländern Asiens und Afrikas modellhaft praktiziert wird (Akoto et al. 2020; Dev et al. 2020). *Trockenresistenz:* Bambus benötigt meist feuchte Wachstumsbedingungen. Einige Arten können längere Trockenphasen laut Händlerangaben besser überstehen (Bambubatu 2023). Gentechnische Zuchtmethoden sollen für eine **Erhöhung der Trockentoleranz** angewendet werden (Wu et al. 2020).

Ökobilanz CO₂Äq: Das schnelle Wachstum macht ihn zu einem Baurohstofflieferanten mit im Anbau günstigen Ökobilanzeigenschaften, je Hektar Erntefläche lassen sich niedrigere, gleiche oder höhere Gesamtkohlenstoffbilanzen erreichen, was von Bewirtschaftung, Standort und Sortenwahl abhängt (van der Lugt et al. 2018). Insbesondere erscheint die Einsatzmöglichkeit zur Rekultivierung von degradiertem Land interessant.

4.4.1.3 Schilfgräser und Miscanthus³

Bestandteile: Das auch in Deutschland heimische **Schilfröhricht** besteht zu 42-45 Prozent aus Zellulose, 22-24 Prozent Lignin. **Miscanthus** – im Anbau noch nicht sehr verbreitet, und wenn, dann zu energetischen Nutzungszwecken, aber auch als Baustoff vielfach erforscht – eignet sich für den Einsatz in Form von Dämmplatten, Zuschlägen für Leichtputze/-Betone. Die Pflanzen der Gattung von mehrjährigen Gräsern, die in der Regel zwischen 1,5 und 3,5 Meter hoch werden, enthalten in der Trockenmasse 35 bis 50 Prozent Zellulose, 10 bis 25 Prozent Lignin.

Hauptverwendung im Bau: **Dämmplatten** vielseitig einsetzbar. Wärmedämmende, putztragende Innenausbauplatte, Putzträger, Reetdachdeckung; gedübelte **Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)** -wie im Falle aller organischen WDVS-Platten nur oberhalb der Spritzwasserzone, in der Regel dreilagig mit Dämmplatten, mineralischem Unterputzmörtel, Oberputz (Holzmann 2009, S. 196). „Im Bauwesen wird Schilf schon seit der Frühsteinzeit für einfache zeltartige Behausungen, später Dachdeckungen, und mit Haselnuss- oder Weidenruten verflochten als stabilisierendes Traggerüst (Putzträger) für Lehm- oder Kalkputze eingesetzt.“ (Holzmann 2009, S. 185) Miscanthus analog, aber auch als **Betonadditiv**, Basis für die Papier- oder Biopolymerherstellung.

Deutsche Anbaufläche (ha): Geschätzt 10.000 bis 25.000 Hektar für den Anbau von Miscanthus, vor allem in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Die Anbaufläche von Schilfgras (auch als

³ Quellen: Holzmann (2009), S. 182-214; S. 260ff.; Heiermann M, Idler C, Plöchl M, et al. (2016). Biomass from perennial crops – a sustainable source of renewable energy. Journal of Cleaner Production, 127, 332-341.; Lewandowski I, Kicherer A, von Braun J (1999). A comparison of the energy yield of reed canary grass, wheat and winter barley grown on the same area and under different conditions in terms of life cycle analysis. European Journal of Agronomy, 10(2), 95-105.

Rohrglanzgras bezeichnet) in Deutschland ist nicht bekannt. *Globale Anbaufläche (ha): n. b. Länder mit den höchsten Anbaumengen:* Deutschland, Großbritannien, China, Indien.

Hektarertrag (t): In Deutschland durchschnittlich 12-20 Tonnen im Jahr; Höchstwerte in Europa von bis zu 30 Tonnen. Schilfgras: 8 bis 15 Tonnen trockener Biomasse (Heiermann et al. 2016; Lewandowski et al. 1999). 8-11 t (sandige Böden) bis zu 25 t.

Ökologisierungbeiträge: Miscanthus kann in Agrarforst- und Agrarökologie-Anbausystemen angebaut werden. Miscanthus hat aufgrund seiner **tiefen Wurzeln** und seiner Fähigkeit, Kohlenstoff und Nährstoffe im Boden zu speichern, Potenzial zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und zur Reduzierung von Erosion. Schilfgräser sollen infolge der **Moor-Wiedervernässungen** an- und abgebaut und ökonomisch in Wert gesetzt werden. Miscanthus ist trockenresistent und kann in Regionen angebaut werden, die von Dürren oder Trockenperioden betroffen sind. Miscanthus hat ein tiefes Wurzelsystem, das bis zu drei Meter tief in den Boden reicht und ihm ermöglicht, Wasser aus tieferen Bodenschichten zu nutzen.

4.4.2 Getreide

4.4.2.1 Getreide

Hauptverwendung im Bau: Dämmstoff als **Getreide-Dämmschüttung**, in Schütt-, Ein- oder Aufblasdämmung. Etwa als Zwischensparrendämmung, Innendämmung, Wanddämmung in Holzrahmenbauweise, Decken- oder Bodenplattendämmung; Hohlraumdämmung von Mauerziegeln; Getreide-Dämmschüttung aus 35 Prozent Roggenschrot, 35 Prozent Roggenkleie, 25 Prozent Kalkhydrat, 4 Prozent Kaliwasserglas, 1 Prozent Molke – brennt nur bei direkter Beflammung. (Holzmann (2009), S. 121ff.)

4.4.2.2 Getreidestroh

Hauptverwendung im Bau: Neben der **Dämmstoffnutzung** ist dieser agrarische Rohstoff auch als tragender Wandbaustoff erprobt – verputzt mit Lehm, Strohballen als Trittschall-Dämmplatten. **Strohballen-Häuser** wurden infolge maschineller Presstechniken in den Vereinigten Staaten im späten 19. Jahrhundert erstmals gebaut, das erste in Europa steht in Frankreich seit gut 100 Jahren. Neben Roggen- der Weizenstroh eignet sich etwa auch **Hanfstroh**.

4.4.3 Weitere Rohstoffe

Zahlreiche nachwachsende Rohstoffe können zumindest aufbereitet als Dämmstoff verwendet werden. Hierzu zählen **Algen** (Mirko- und Makroalgen), **Seegras** – etwa als Dämmstoff in Schüttdämmung oder Aufblasdämmtechnik – hier sind Zusätze von (giftigem) Borsalz für den Brandschutz nicht nötig wegen des natürlichen hohen Salzgehalts. (Holzmann 2009, S. 215-226). „Nach allgemeinen Angaben werden an die deutschen Küsten, je nach Region, zwischen 600 und 1200 m³ Seegras angespült. Da angeschwemmtes Seegras nur mit entsprechender Vorbehandlung entsorgt werden darf und das Aufbringen der angeschwemmten, unbehandelte

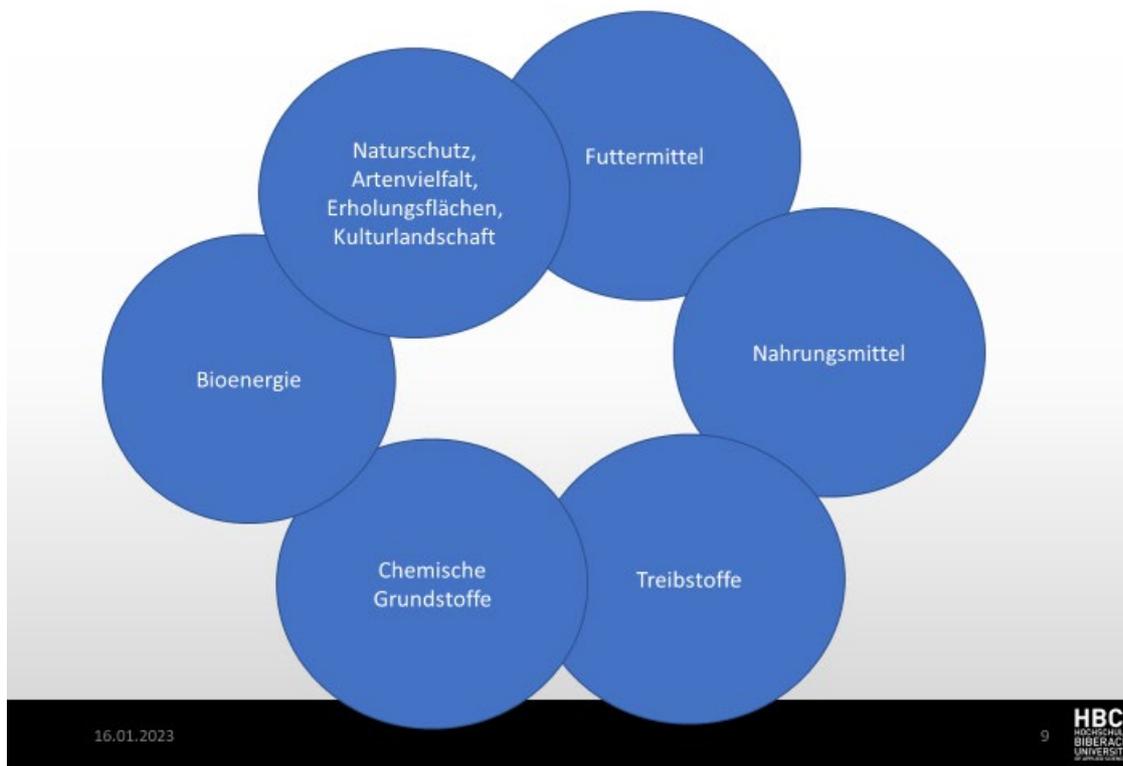
Getreide

Getreidestroh

Weitere

Pflanzenteile auf die Felder in Teilen Deutschlands verboten ist, wird dieses Strandgut oft zu einem regionalen Entsorgungsproblem. Man kann jedoch erwarten, dass sich dies mit der Neuentdeckung des pflanzlichen Rohstoffes Seegrass und der bekannten allgemeinen Umweltlage noch ändern wird.“ (ebd., S. 218). Ferner: **Flachs**, **Kork** (etwa als Dämmplatten für WDVS), **Baumwolle** – auch wiederverwertet aus gebrauchten Kleidern wie Jeans, aus denen Dämmstoffe werden -, **Kokos**, Ananasfaser (Anbau als Faserpflanze ohne Fruchtstand etwa in Taiwan, Philippinen – große Robustheit lässt Eignung als Dämmfaserrohstoff erwarten (Holzmann 2009, S. 255). **Jute** (in Deutschland 1900 noch mit einer Anbaufläche von rund 1 Millionen ha. (Holzmann, S. 258), **Hopfen**, der historisch auch als Faserpflanze genutzt wurde, **Brennnessel**, die auch traditionell als Faserpflanze für Textilherstellung genutzt wurde.

4.5. Ethisches Dilemma der Flächenkonkurrenzen



Ethisches Dilemma
der
Flächenkonkurrenzen

Das ethische Hauptdilemma der Nutzung nachwachsender Rohstoffe für den Bau ist die **Flächenkonkurrenz mit Lebensmitteln**. Einerseits gilt das „Food First“ als ethischer Konsens der Bioökonomie. Andererseits etabliert sich in der internationalen Entwicklungspolitik mehr und mehr ein Ansatz, der auf eine sozial-ökologische „Optimierung“ der gesamten sogenannten „Food Systems“ fokussiert (von Braun et al. 2023). Hier ist die Effizienz der Landwirtschaft ebenso ein Anliegen, wie die Gesundheit der Menschen und klimatische Folgen der Landwirtschaften. Dieser neue Fokus verspricht im Grunde, das „Gegeneinander“ der Flächennutzung nicht mehr so starr zu denken wie bislang. Die stoffliche Holznutzung entzieht der Erdatmosphäre dauerhaft CO₂, was sich positiv auf die Klimastabilität auswirken kann. Und eine **Reduktion des flächenverbrauchenden**

Tierhaltung wäre im Stande, die Flächenkonkurrenz auch bei steigender Weltbevölkerung zu entschärfen. Insbesondere die Frage menschliche **Fehlernährung** ist eng mit der ineffizienten Flächennutzung verbunden. Seit Jahrzehnten steigen die Weltbevölkerung wie der Anteil an Übergewichtigen gleichermaßen, und letzterer auch in Entwicklungs- und Schwellenländern (Grossarth 2019).

Flächenkonkurrenzen können auch entschärft werden durch eine Vielfachnutzung der Fläche, etwa durch sogenanntes **Multi-Cropping, Agroforstwirtschaft, vertikale Farmen in Hochhäusern** oder durch **Agrar-PV-Produktionssysteme** auf Äckern. Hier ermöglichen die teils lichtdurchlässigen PV-Dächer noch immer ein – in der Regel leicht reduziertes – Wachstum von Getreide, Äpfeln oder Trauen über dem Boden oder in Strauchhöhe. Insbesondere den Methoden und Ansätzen der Agrarökologie und des Agroforstes wird zugetraut, die Flächenkonkurrenzen der Bioökonomie zu entschärfen. Das sind Bodenverbesserung, die auf einem Humusaufbau beruhen (Carbon Farming) und der Agroforst.

Insbesondere für die **größere Flächenproduktivität** in der Biomasseerzeugung durch Agroforstsysteme gibt es wissenschaftliche Belege. Dennoch werden höhere Kosten der Bewirtschaftung als Hindernis in der Umsetzung genannt. (Lehmann et al. 2020). Agroforst kann insbesondere für den Holzbau interessant sein, da hier zahlreiche Gehölze integriert werden können, wie etwa Haseln, Vogelkirschen, Walnuss, Speierling oder verschiedene Obstbäume. In Feldversuchen in ariden Gebieten mit degradierten Böden wurden deutliche Verbesserungen der Bodenqualität, etwa **Wasserspeicherfähigkeit**, und eine Erhöhung der Erträge nachgewiesen (Ikromov, Kadamov 2021).

Ein agrarischer Ansatz, die ökologischen Zielkonflikte der Flächennutzung zu verringern, könnte auch der vermehrte Einsatz von **mehnjährigen Kulturen** sein, denn bei ihnen ist im Mittel die Rohstoffeffizienz im Verhältnis von ökologischem und intensivem Anbau bei ersterem relativ günstiger – das heißt, sie kommen auch mit weniger energieintensiver Düngung und Pestizideinsatz näher an die Erträge der intensiven Landwirtschaft, als einjährige Pflanzen. Maniok in Afrika ist ein Beispiel. Miscanthus, die Baustoffe und Energie gibt, ein Beispiel aus unseren Breiten (Thünen 2019, Abb. 4.3.). Derart viele Aspekte sind zu beachten, wenn der stark vermehrte Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Bau gefordert wird, aber so groß ist auch die Breite der kreativen Ausgestaltungen der Landschaftsplanung und -nutzung.

LITERATURVERZEICHNIS

Americanhardwood (2023), Maggies Oldham, Online abrufbar unter <https://www.americanhardwood.org/en/examples/our-projects/maggies-oldham/outcome>

Bastin, J.-F., et al. (2019), The global tree restoration potential. In: Science 365.6448 (2019): S. 76-79.

Bringezu, S., Banse, M. (2020), Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie. Online abrufbar unter: <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/11591>

Center for Environmental Systems Research CESR (Hg., 2020), Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie, Online abrufbar unter: <https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/11591/PilotberichtMonitoringBiooekonomie2020.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Dach & Holzbau 2019, Holz-Hochhaus Mjøstårnet mit 81m Höhe fertiggestellt, Online abrufbar unter: <https://www.dach-holzbau.de/artikel/18-stockwerke-aus-holz-3334141.html>

EU (2023), Build in Wood, Online abrufbar unter : <https://www.build-in-wood.eu/>

Gesamtverband Deutscher Holzhandel (2023), Holz vom Fach, Online abrufbar unter: <https://www.holzvomfach.de/fachwissen-holz/holz-abc/pappel/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020), Report Germany, Global Forest Resource Assessment. Online abrufbar unter: <https://www.fao.org/3/ca9997en/ca9997en.pdf>

Grossarth, J. (Hg., 2019), Future Food, Die Zukunft der Welternährung, wbg Theiss.

Grossarth, J. (2023), Agrarische Biomasse für den klimagerechten Bau. Ein Überblick über Nachhaltigkeitspotenziale Ressourcenpotenziale, Klimaschutzbeiträge, Anwendungen und Zielkonflikte, nbau, 2/23

Holzmann, G.; Wangelin, M.; Bruns, R. (2009), Natürliche und pflanzliche Baustoffe. Wiesbaden: Vieweg+ Teubner.

Ikromov, I. I., Kadamov, A. (2021), Agroforestry Against Wind Erosion Damage: A Case Study in Tajikistan." Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Cham: Springer International Publishing, S. 693-705.

Knaack, U.; Bach, R., Schabel, S. (Hg., 2022), Bauen mit Papier, Architektur und Konstruktion, Birkhäuser.

Lehmann Mølgaard, L.; Smith, J. et al. (2020), Productivity and economic evaluation of agroforestry systems for sustainable production of food and non-food products. In: Sustainability 12.13 (2020): S. 5429.

Lippe, M.; Lewandowski, I.; Unseld, R. et al. (2017), Die Herkunft der Biomasse, in: Pietzsch (Hg.), Bioökonomie für Einsteiger, S. 11-66.

Mamanpush, S. H., Li, H. et al. (2023), The Impact of Wood Fibers in Composite Panels Made from Recycled Fiberglass Wind Turbine Blades. In: Waste and Biomass Valorization (2023): S. 1-8.

Papiertechnische Stiftung (PTS) 2015, Faser und Papier 2030. Nachwachsende Zukunft gestalten. Online abrufbar unter: https://www.brainguide.de/upload/publication/40/2fcg9/36acbe9ca344a116cc2e4777bd8e8bcf_1508230561.pdf

Pietzsch, J.; Schurr, U. (2017), Einleitung, in: Pietzsch, J. (Hg.), Bioökonomie für Einsteiger, S. 1-10.

Pillen, K.; Tissier, A.-L.; Wessjohann, L.A. (2020), Pflanzenbasierte Bioökonomie, In: Thrän, D.; Moesenfechtel, U. (Hg.), Das System Bioökonomie (2020): S. 35-49.

Pringle, Richard, Sharratt Architects (2023), Arts&Civic: Sheffield Winter Garden. Sheffield, South Yorkshire, Online abrufbar unter: <http://www.prsarchitects.com/projects/arts-civic/sheffield-winter-garden>

Röck, M.; Balouktski, M. et al. (2020), Embodied GHG emissions of buildings—The hidden challenge for effective climate change mitigation, In: Applied Energy 258 (2020): 114107.

Schellhuber, H. J. (2021), Gute Zukunft Bauen, Vortrag auf dem Kongress Zukunft Bau, Bonn, 18.11.21.

Stora Enso (2021), CLT by Stora Enso. Technische Broschüre, Online abrufbar unter: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-de.pdf>

The Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability, Online abrufbar unter: https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

Umweltbundesamt (2022), Treibhausgas-minderungsziele Deutschlands. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-minderungsziele-deutschlands>

UBM Development AG (2022), New Kiez on the Block, Online abrufbar unter: <https://www.ubm-development.com/magazin/woho-berlin/>

Unnerstall, T. (2021), Faktencheck Nachhaltigkeit. Ökologische Krisen und Ressourcenverbrauch unter der Lupe, Springer.

von Braun, J., Afsana, K. et al. (2023), Science for transformation of food systems: opportunities for the UN Food Systems Summit. In: Science and Innovations for Food Systems Transformation (2023): S. 921.

HBC Hochschule Biberach
IBiT | Institut für Bildungstransfer
Karlstraße 11
D-88400 Biberach

ibit@hochschule-bc.de
www.hochschule-biberach.de

Gefördert
durch



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM
UND VERBRAUCHERSCHUTZ