

FORUM WOOD BIOECONOMY INTERNATIONAL

1. Internationales Wood BioEconomy-Forum (WBE)

15./16. Februar 2023

Technische Hochschule Rosenheim, Deutschland

Status Quo und Perspektiven für die Zukunft

BFH BIEL
TH ROSENHEIM
AALTO HELSINKI
TU MUNCHEN
PRINCE GEORGE
TU WIEN

FORUM WOOD BIOECONOMY INTERNATIONAL

1. Internationales Wood

BioEconomy-Forum (WBE)

Technische Hochschule Rosenheim (DE)

15./16. Februar 2023

Status Quo und Perspektiven für die Zukunft

Herausgeber:

FORUM **HOLZBAU**
Bahnhofplatz 1
2502 Biel/Bienne
Schweiz
T +41 32 327 20 00

Bearbeitung und Satz:

FORUM **HOLZBAU**, Simone Burri, Katja Rossel, Katharina Uebersax

© 2023 by FORUM **HOLZBAU**, Biel/Bienne, Schweiz
ISBN 978-3-906226-51-4

www.forum-holzbau.com | www.forum-holzkarriere.com |
www.forum-holzbranche.com | www.forum-holzwissen.com

Inhalt

UMFELD

- Spannungsfeld Altholz und Frischholz-vorräte für Energie und Produkte?** 13
Alfred Teischinger, Universität für Bodenkultur, Wien, Institut für Holztechnologie, Tulln/Donau, Österreich
- Der Weg zum klimaneutralen Unternehmen** 23
Dr. Denny Ohnesorge, Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und Kunststoffe verarbeitenden Industrie e.V. (HDH), Berlin, Deutschland

Block A1

Möbel: Biobasierte Holzwerkstoffe und Beschichtungen

- Neue Wege/Möglichkeiten (Recycling) der MDF-Produktion** 31
Marco Mäbert und Prof. Dr. Detlef Krug, Institut für Holztechnologie Dresden, Dresden, Deutschland
- Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette** 45
Dr. Martina Bender, EGGER Holzwerkstoffe, St. Johann, Österreich

Block A2

Möbel: Biobasierte Möbel und Werkstoffteile

- Affordable sustainability: A furniture retailer reducing the carbon dioxide footprint of wooden furniture** 57
Jan-Olof Fechter, IKEA of Sweden, Älmhult, Schweden
- DAIKA Wood – Upcycling Wood Waste Streams into New Products** 63
Dr. Michael Layani, DAIKA Wood, Rosh Haayin, Israel
- Closing the loop: Möbelrücknahme und Kreislaufwirtschaft** 67
Jan Kurth, Verbände der deutschen Möbelindustrie, Bad Honnef/Herford, Deutschland

Block B1

Bau: Skalierende Massnahmen für die Umsetzung

- Bioökonomie – Was kann die Ökobilanzierung leisten?** 75
Prof. Dr. Sandra Krommes, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland
- Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)** 83
Karl-Heinz Weinisch, Institut für Qualitätsmanagement und Umfeldhygiene, Weikersheim, Deutschland
- QNG-Beispiel eines Gebäudes** 93
Holger König, Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte, Gröbenzell, Deutschland

Block B2

Bau: Neue Produkte und Verfahren

- Individual Layer Fabrication (ILF) – Ein neues Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen aus Holz** 103
Frauke Bunzel, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, Braunschweig, Deutschland
- Schließung von ressourceneffizienten Produktkreisläufen durch neue Geschäftsmodelle – RessProKA** 111
Prof. Dr. Sabine Flamme, FH Münster/IWARU, Münster, Deutschland
- Funktionelle holzbasierte Materialien für das Bauwesen** 117
Ingo Burgert, Institut für Baustoffe/ETH Zürich, WoodTec-Group/Empa, Zürich, Schweiz

BioChemicals

Überblick neue Klebstofftechnologien 125
Dr. Hendrikus (Erik) van Herwijnen, Wood K plus – Kompetenzzentrum Holz, Linz, Österreich

Nachhaltige Holzbeschichtungen – nur ein Traum oder realistisch? 133
Dr. Albert Rössler, ADLER-Werk Lackfabrik, Schwaz, Österreich

Harze und Klebstoffe auf Basis von Lignin und Tanninen 143
Prof. Dr. Ingo Mayer, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne, Schweiz

ALLES HOLZ – Was kommt?

Verpackungen aus Natur-Faserstoffen 153
Thomas Halletz und Cornelia Frank, KIEFEL, Freilassing, Deutschland

**Prozessoptimierung und Prozessentwicklung für die Herstellung von
 Holzfaserdämmstoffen und anderen holzfaserbasierten Materialien** 159
Prof. Dr. Andreas Michanickl, Technische Hochschule Rosenheim, Rosenheim, Deutschland

**Nachhaltigkeit in der Holzbranche: Mittelstand im Spannungsfeld zwischen
 Anforderungen, Transparenz und Kommunikation** 169
Peter Weidenhammer, STEICO, Feldkirchen, Deutschland

ALLES HOLZ – Was wird gehen?

Forschung als Notwendigkeit in der holzbasierten Bioökonomie 181
*Dr. Veronika Auer, Technische Hochschule Rosenheim, Sachverständigenrat
 Bioökonomie Bayern, Rosenheim, Deutschland*

Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe – Partner für Holz? 189
*Anna Eiglsperger, Geschäftsstelle des Sachverständigenrats Bioökonomie Bayern,
 Straubing, Deutschland*

back to the future! Mit der ältesten Industrie ins postfossile Zeitalter 197
Henrik Ratzow, Ziegler Group, Naturheld, Plößberg, Deutschland

Moderatoren

Prof. Germerott Uwe

Berner Fachhochschule,
Architektur, Holz und Bau
Solithurnstrasse 102
2500 Biel/Bienne, Schweiz

+41 32 344 03 50
uwe.germerott@bfh.ch

Prof. Leps Torsten

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 23 37
torsten.leps@th-rosenheim.de

Prof. Ober Thorsten

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 23 12
thorsten.ober@th-rosenheim.de

Dr. Schuster Sandra

Technische Universität München TUM
Arcisstrasse 21
80333 München, Deutschland

+49 8928 925 493
sandra.schuster@tum.de

Prof. Dr. Zscheile Matthias

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 23 88
matthias.zscheile@th-rosenheim.de

Prof. Dr. h.c. Köster Heinrich

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 120
heinrich.koester@th-rosenheim.de

Prof. Letsch Bernhard

Berner Fachhochschule,
Architektur, Holz und Bau
Solithurnstrasse 102
2500 Biel/Bienne, Schweiz

+41 32 344 03 06
bernhard.letsch@bfh.ch

Schulze Alexander

C.A.R.M.E.N. e.V.
Schulgasse 18
94315 Straubing, Deutschland

+49 9421 960 384
alexander.schulze@carmen-ev.bayern.de

Prof. Dr. van de Kuilen Jan-Willem G.

Technische Universität München TUM
Winzererstrasse 45
80797 München, Deutschland

+49 8921 806 462
vandekuilen@hfm.tum.de

Referenten

Dr. Auer Veronika

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland

+49 8031 805 27 32
veronika.auer@th-rosenheim.de

Dr. Bunzel Frauke

Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Bienroder Weg 54e
38108 Braunschweig, Deutschland

+49 5312 155 422
frauke.bunzel@wki.fraunhofer.de

Eiglsperger Anna

Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern
Schulgasse 18
94315 Straubing, Deutschland

+49 9421 960 389
anna.eiglsperger@biooekonomierat.bayern.de

Dr. Bender Martina

FRITZ EGGER GmbH & Co. OG
Weiberndorf 20
6380 St. Johann in Tirol, Österreich

+49 151 613 793 02
martina.bender@egger.com

Prof. Dr. Burgert Ingo

ETH Zürich Institut für Baustoffe
Stefano-Franscini-Platz 3
8093 Zürich, Schweiz

+41 44 633 77 73
iburgert@ethz.ch

Fechter Jan-Olof

IKEA of Sweden
Tulpanvägen 9
34381 Älmhult, Schweden

+46 723 528 277
jan-olof.fechter@inter.ikea.com

Prof. Dr. Flamme Sabine

FH Münster
Corrensstrasse 25
48149 Münster, Deutschland
+49 2518 365 253
flamme@fh-muenster.de

Halletz Thomas J.

KIEFEL GmbH
Sudetenstrasse 3
83395 Freilassing, Deutschland
+49 8654 78 100
thomas.halletz@kiefel.com

Dr. Klausnitzer Bernd

Schattdecor
Walter-Schatt-Allee 1-3
83101 Thansau, Deutschland
+49 8031 275 25 72
b.klausnitzer@schattdecor.de

Prof. Dr. Krommes Sandra

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland
+49 8031 805 24 16
sandra.krommes@th-rosenheim.de

Dr. Layani Michael

Daika Wood
Amal 11
4809239 Rosh Haayin, Israel
+972 54 318 03 99
Michael.layani@mail.huji.ac.il

Prof. Dr. Mayer Ingo

Berner Fachhochschule,
Architektur, Holz und Bau
Solithurnstrasse 102
2500 Biel/Bienne, Schweiz
+41 32 344 03 43
ingo.mayer@bfh.ch

Dr. Ohnesorge Denny

Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und
Kunststoffe verarbeitenden Industrie und
verwandter Industrie- und Wirtschaftszweige
Flutgraben 2
53604 Bad Honnef, Deutschland
+49 2224 937 715
denny.ohnesorge@holzindustrie.de

Dr. Rössler Albert

ADLER-Werk Lackfabrik
Johann Berghofer GmbH & Co KG
Bergwerkstrasse 22
6130 Schwaz, Österreich
+43 5242 692 23 04

Frank Cornelia

KIEFEL GmbH
Sudetenstrasse 3
83395 Freilassing, Deutschland
+49 8654 78 100
cornelia.frank@kiefel.com

Dr. Hübsch Christian

UPM Biochemicals GmbH
Am Haupttor – Bau 4614
06237 Leuna, Deutschland
+49 3461 519 50 01
christian.hubsch@upm.com

König Holger

Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte
Wacholderweg 1
82194 Gröbenzell, Deutschland
+49 814 265 186 96
mail@ascona-koenig.de

Kurth Jan

Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V.
Flutgraben 2
53604 Bad Honnef, Deutschland
+49 2224 937 712
hgf@moebelindustrie.de

Mäbert Marco

Institut für Holztechnologie Dresden
gemeinnützige GmbH
Zellescher Weg 24
01217 Dresden, Deutschland
+49 3514 662 352
marco.maebert@ihd-dresden.de

Prof. Dr. Michanickl Andreas

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstrasse 1
83024 Rosenheim, Deutschland
+49 8031 805 23 66
andreas.michanickl@th-rosenheim.de

Ratzow Henrik

Ziegler Group
Zur Betzenmühle 1
95703 Plössberg, Deutschland
+49 9636 920 90
henrik.ratzow@ziegler.global

Prof. Dr. i.R Teischinger Alfred

BOKU Institut für Holztechnologie und
Nachwachsende Rohstoffe
Konrad Lorenz Strasse 24
3430 Tulln an der Donau, Österreich
+43 1476 548 91 15
alfred.teischinger@boku.ac.at

Dr. van Herwijnen Erik

Wood K Plus
Altenberger Strasse 69
4040 Linz, Österreich

+43 1476 548 91 37
e.herwijnen@wood-kplus.at

Weidenhammer Peter

STEICO
Otto-Lilienthal-Ring 30
85622 Feldkirchen, Deutschland

+49 8999 155 13 01
p.weidenhammer@steico.com

Weber Tim

FutureCamp Climate GmbH
Aschauer Strasse 30
81549 München, Deutschland

+49 1520 380 69 48
tim.weber@future-camp.de

Weinisch Karl-Heinz

IQUH GmbH
Deutschordenstrasse 4/3
97990 Weikersheim, Deutschland

+49 7934 912 111
weinisch@iquh.de

Mittwoch, 15. Februar 2023

UMFELD

Spannungsfeld Altholz und Frischholzvorräte für Energie und Produkte?

Alfred Teischinger
Universität für Bodenkultur, Wien
Institut für Holztechnologie
Tulln/Donau, Österreich



Spannungsfeld Altholz und Frischholzvorräte für Energie und Produkte?

1. Einleitung und Hintergrund

Über viele Jahrzehnte war die Entwicklung der Holz- Holzwerkstoff-, sowie der Papierindustrie auf den Rohstoff «Frischholz» ausgerichtet. Fragen der Ressourcenverfügbarkeit und Ressourcenökonomie, die zunehmende Bedeutung von Energie aus Biomasse sowie rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. Umsetzung von Deponierichtlinien bzgl. organischer Abfälle, EU Abfallhierarchie) haben die Nutzung von Altpapier und Altholz verstärkt in den Blickpunkt einer möglichen bzw. verstärkten stofflichen oder energetischen Nutzung gebracht. Diese Entwicklung folgte dem generellen Prinzip der Abkehr von der Beseitigung hin zur Kreislaufwirtschaft [1].

Vorreiter war dabei sicherlich die Papierindustrie, die schon in den 1950er Jahren in Deutschland einen Einsatz von 26% Altpapier dokumentiert [2]. In den 1985er Jahren stieg der Einsatz von Altpapier mit verstärkten Konzepten des Papierrecyclings in Technologie und Logistik (Altpapiersammlung) enorm an. Inzwischen sind Österreich und Deutschland bei Altpapier zu Ländern mit den effizientesten Recycling-Systemen und höchsten Rücklaufquoten von über 70% geworden.

Erst viel später hat sich die stoffliche und energetische Nutzung von Altholz in einem größeren Stil mit entsprechenden Aufbereitungssystemen entwickelt. Ein wesentlicher Treiber der stofflichen Nutzung von Altholz war dabei die rasante Entwicklung der Pelletindustrie als Energieträger, wodurch der Holzwerkstoffindustrie innerhalb eines vergleichbar kurzen Zeitraums die kostenmäßig günstige Ressource Säge- und Hobelspan entzogen wurde und durch entsprechend aufbereitetes Recyclingholz kompensiert werden mußte.

2. Definitionen

Die Begriffsbestimmungen zu Altholz, Altpapier, Frischholz, Frischfaser, Recyclingholz usw. haben sich im Zuge dieser o.g. Entwicklung, meist durch Vorgabe in den entsprechenden Richtlinien und Verordnungen gebildet und sind daher oft länderweise noch nicht ganz vereinheitlicht. In der Folge werden daher die wichtigsten Begriffe kurz zusammengefasst:

Altholz (auf Basis der «Altholzverordnung» (DE), Abfallwirtschaftsgesetz (AT) und Recyclingholzverordnung (AT), [3, 4, 5]):

Bewegliche Sachen auf Basis Holz, deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen nicht zu beeinträchtigen. Dabei kann es sich im Wesentlichen um *Gebrauchtholz* (Holz von gebrauchten Erzeugnissen) und *Industrierestholz*, soweit diese als Abfall bzw. als Holz- und Holzwerkstoffreste aus der Produktion anfallen, handeln [6]. Während die Gebrauchthölzer klar als Abfälle am Ende ihrer Lebensdauer verstanden werden, ist diese Einordnung für Industrieresthölzer schwieriger, womit unweigerlich ein bestimmter Interpretationsspielraum gegeben ist.

Aufgrund der verschiedenen Herkunft von Althölzern kann Altholz in unterschiedlichem Maß mit Fremdstoffen belastet sein. Aus diesem Grund wird das Holz in der Altholzverordnung (AltholzV) in vier Altholzkategorien aufgeteilt [5]:

- A I – naturbelassenes Holz, das lediglich mechanisch bearbeitet wurde,
- A II – verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel,
- A III – Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel,

- A IV – mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, etc., sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I bis A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

Recyclingholz

Altholz, das dem Recycling in der Holzwerkstoffindustrie zugeführt werden soll und Vorgaben der Recyclingholzverordnung (RHV) erfüllt. Es verliert demnach mit einer entsprechenden Deklaration auf Basis eines gültigen Beurteilungsnachweises die Abfalleigenschaft [4]. Im Sinne der RVH ist Altholz gemäß nachweislich einem Recycling zuzuführen. Die Verpflichtung zum Recycling besteht nicht, wenn die dabei entstehenden Kosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung unverhältnismäßig sind. Altholz ist am Anfallsort zu erfassen, zu sammeln, zu trennen, zu lagern und zu transportieren (Quellensortierung). Ist die Trennung am Anfallsort technisch nicht möglich oder mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden, so hat diese in einer dafür genehmigten Behandlungsanlage zu erfolgen.

Für Altholz, das mit halogenorganischen Beschichtungen versehen ist, besteht ein Recyclingverbot und es darf ohne vorherige Entfernung der Beschichtung nicht einem Recycling zugeführt werden.

Gegenüber dem Altholz schließt das Recyclingholz nach der RHV jedoch auch bestimmte Abfälle aus der Produktion (z.B. Rindenabfälle, Schleifstaub, Spreißel, Sägespäne etc.) mit ein.

International bzw. im englischen Sprachgebrauch sind auch die Begriffe «Recovered Wood» bzw. «postconsumer wood» eingeführt bzw. zu beachten, da sie teilweise etwas von den in den o.g. Verordnungen und Gesetzen abweichen:

Recovered wood includes all kinds of wood material which, at the end of its life cycle in wooden products, is made available for re-use or recycling. Re-use can be either for material purposes or energy production. This group mainly includes used packaging materials, wood from demolition projects, unused or scrap timber from building sites. Sometimes referred to as «post-consumer» or «post-use» wood [7]. In diesem Zusammenhang sei auch auf die entsprechenden Definitionen der deutschen und englischen Fassung der EN 14021 [22] verwiesen.

Recycling, Downcycling und Nutzungskaskade

Recycling ist u.a. ein Begriff der dritten Stufe der Abfallhierarchie der EU Abfallrahmenrichtlinie [8] und bezeichnet jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

Im Hinblick auf das Qualitätsniveau mit Bezug auf das Ausgangsmaterial wird häufig von Downcycling gesprochen. Der Begriff weist darauf hin, dass die Wiederverwertung von Stoffen nicht automatisch innerhalb eines Kreislaufsystems bei konstantem Qualitätsniveau erfolgt, sondern vielmehr ein Qualitätsverlust (Verminderung der Eigenschaften) bei jeder erneuten Verwertung gegeben ist. Demgegenüber wird eine Qualitätsverbesserung – wie immer diese definiert ist und zustande gekommen sein mag – gerne als «Upcycling» bezeichnet.

Eng verbunden mit dem Begriff des Downcyclings ist die Nutzungskaskade von Holz, womit eine Mehrfachnutzung des Materials über mehrere Stufen in Recyclingketten mit der energetischen Nutzung als letzter Schritt gemeint ist [9].

3. Altholz und seine Verwendung

3.1. Prozesketten für Produktion und Wiederverwertung

Im Prozess der Wiederverwertung bzw. auch Weiterverwertung von Holz in einem Produkt bzw. einem Bauteil und einer Konstruktion gibt es generell verschiedene Optionen, die in der Abbildung 1 zusammengefasst sind.

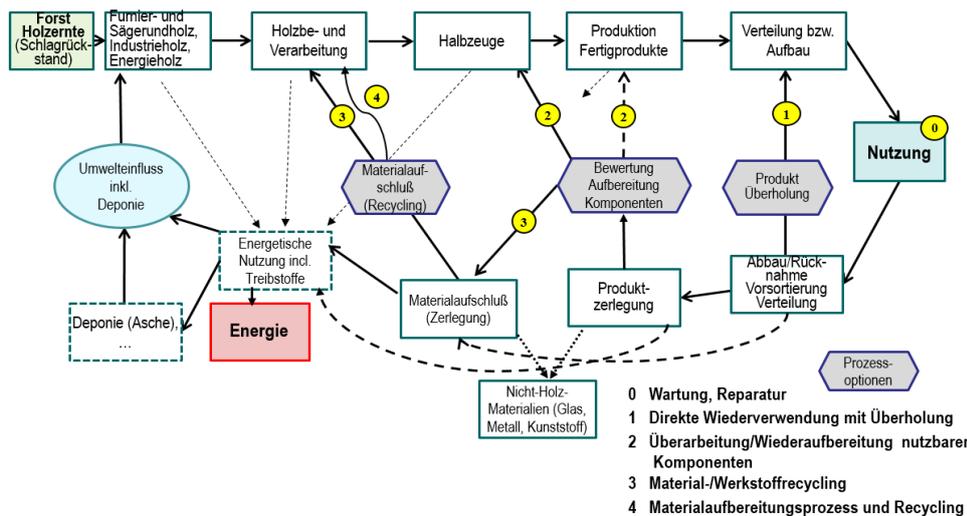


Abbildung 1: Prozesse der Wiederwertung von Holzprodukten und Werkstoffen, überarbeitet für die Wertschöpfungskette Forst-Holz basierend auf [10]. Im Sinne einer «Quellensorierung» sind die Fraktionen «Altholz stofflich» (Altholz zum Recycling) und «Altholz thermisch» (Altholz zur Verbrennung) bereits am Anfallsort getrennt zu erfassen (in Österreich verpflichtend)

Ein durch Sortierung und weitere Behandlung entsprechend aufbereitetes Altholz bzw. Altpapier kann nach den in Abb. 1 dargestellten Prozessschritten wieder in den Fertigungsprozess eingeschleust werden. Störstoffe müssen entsprechend ausgeschleust und entsorgt werden und nicht geeignete holzbasierte Fraktionen können einer energetischen Nutzung zugeführt werden.

3.2. Einsatzmöglichkeiten für Altholz und Altpapier

Mit Bezug auf die Abbildungen 1 und 2 sind jedoch für die einzelnen Hauptproduktgruppen bzw. Gruppen von Halbzeugen nur bestimmte Altholzqualitäten möglich bzw. ist Altholz nur bedingt einsetzbar. Abbildung 2 zeigt als Beispiel den Altholzeinsatz für Spanplatte in verschiedenen Produktionsländern (in Deutschland und Österreich ist aufbereitetes Altholz/Recyclingholz nach der Altholzklasse I und II möglich [4, 5, 6]).

Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Anteile von Frischholz (Industrierundholz und Sägenebenprodukte) und aufbereitetem Altholz. Die sehr großen Unterschiede des jeweiligen Anteils lassen sich durch die Rohstoffverfügbarkeit und auch durch die Verfügbarkeit von Altholz über entsprechende Logistiksystem bzw. den Aufbereitungsanlagen erklären.

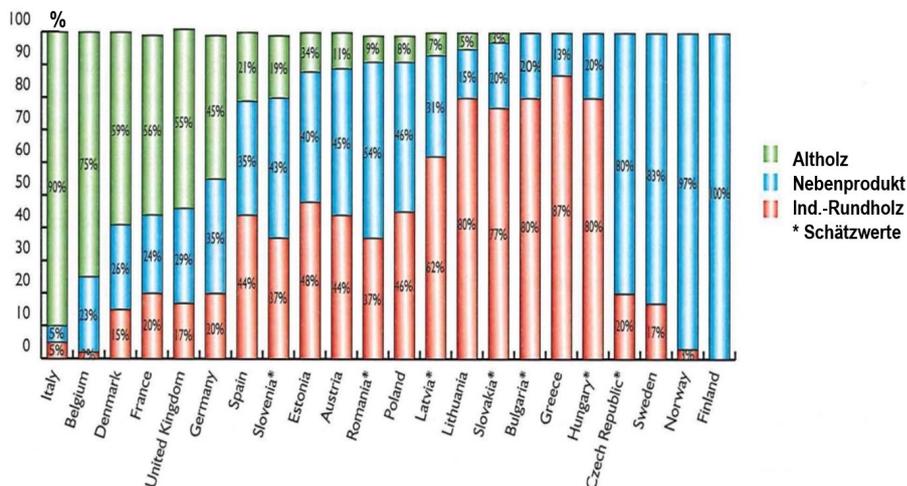


Abbildung 2: Anteil von Industrierundholz, Sägenebenprodukten und Altholz für die Produktion von Holzspanplatten in verschiedenen Ländern Europas [11]. Hinweis: Basisdaten veraltet, aktuell andere Relationen möglich.

3.3. Altholz/Altpapier

Während die jeweils dafür vorgesehenen Sortimente an frischem Stammholz oder Nebenströmen der Holzverarbeitung nach Abb. 3 in jedem Fall für eine Prozesskette geeignet sind, kann nicht jede Altholz- bzw. Altpapierfraktion für jeweiligen Fertigungsprozessen verwendet werden. In bestimmten Fällen ist es auch eine Mischung von Anteilen an Frischholz und Altholz und Holz aus Nebenströmen anderer Prozessketten wie in den Abb. 2 und 3 dargestellt. Die folgende Tabelle 1 gibt eine beispielhafte Bewertung des Altholzeinsatzes als Sekundärrohstoff in ausgewählten Produktionsprozessen.

Tabelle 1: Aktuelle und potentielle Einsatzmöglichkeiten von Altholz/Recyclingholz und Altpapier nach entsprechender Aufbereitung

Produkt/Anwendung	Einsatz Altholz	Bemerkung
Schnittholz	bedingt aus Altholz	Sonderfälle ¹⁾
Leimbauteile BSH, CLT	derzeit nicht ²⁾	Festigkeitsbeurteilung ungeklärt
Spanplatte	bis etwa 40% (A I/A II)	oft nur in Mittellage
Oriented Strandboard (OSB)	möglich	in Mittellage bevorzugt A I
Faserplatte	nur geringer Anteil	bei MDF (Mittellage)
Sperrholz	nein	nur Frischholz
Holzchemie/Biogas/Biokohle	möglich	derzeit keine nennenswerte Produktion
Energie - Privathaushalt (Pellets, Stückholz)	nein	
Energie - Kraftwerke	möglich	je nach Aufbereitung und Anlagenkonzept auch A IV
Zellstoff	nein	Kleinversuche etc.
Papier/Karton (Altpapiereinsatz)	möglich, meist in Mischung je nach Type	AT graphische Papiere 30% Verpackungspapier 70% ³⁾

¹⁾ Es gibt auch Fälle, wo Frischholz auf «Altholz» modifiziert wird

²⁾ Im Projekt «CareWood» [9] wurden entsprechende Konzepte angedacht, aktuell mehrere Projekte wie «The Cradle», «Timber Loop» etc.

³⁾ Im Gesamtdurchschnitt für die angeführten Papiersorten

4. Frischholz- und Altholz-/Altpapiermengen im Vergleich

4.1. Materialflüsse und Kenndaten von Frischholz und Altholz/Altpapier

Die gesamte Holzverarbeitung incl. der Produktion von Zellstoff und Papier sowie Nutzung der Nebenströme aus der Holzverarbeitung und aus der Produktion von Zellstoff und Papier ist sehr komplex (Abb.3). Nebenströme aus der Prozesskette Massivholzbe- und -verarbeitung (z.B. Rinde, Hackgut, Säge- und Hobelspäne) werden zum Rohstoff für andere Prozessketten wie für die Holzwerkstoff- oder Zellstoffproduktion bzw. sind Energieträger für die energetische Nutzung (innerbetrieblich oder überbetrieblich).

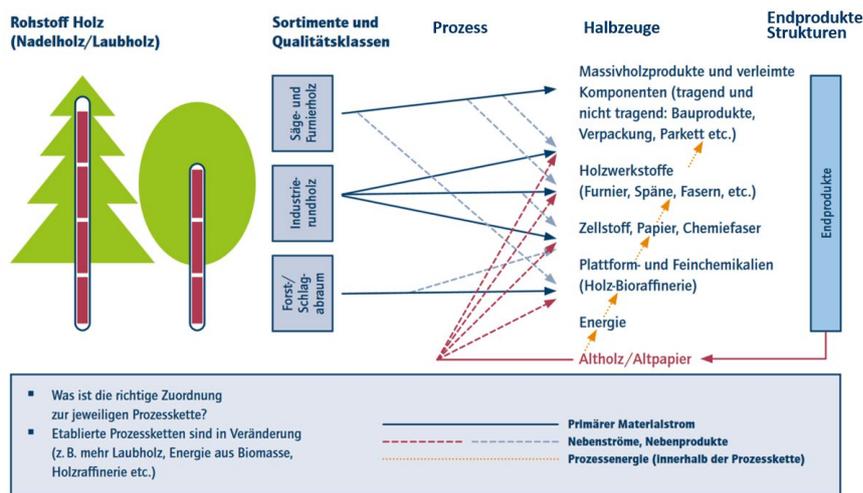


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der einzelnen Holz-basierten Prozessketten mit deren Verflechtung über die Nebenströme der jeweiligen Prozessketten. Nach Teischinger in [12].

Einige ausgewählte Kenndaten bzw. Mengenangaben zu den jeweiligen Materialflüssen sind zur Übersicht in der Tabelle 2 zusammengefasst. Für detailliertere Mengenflüsse wird auf die einschlägigen Studien und Statistiken verwiesen [6, 14]

Tabelle 2: Ausgewählte Mengenangaben im Materialfluß der Holzbearbeitung und Produktion von Zellstoff/Papier für Österreich und Deutschland nach verschiedenen Quellen zu unterschiedlichen Zeiträumen (primär für 2016 -2021) [2, 6, 13, 14, 22]

	Deutschland	Österreich
Holzvorrat (mio fm)	3 879	1 135
Holzzuwachs (mio fm)	117	30
Holzernte (mio fm)	65 – 70 (83) ³⁾	18,4
Sägerundholz (mio fm) ²⁾	36	10,2
Industrierundholz (mio fm)	13,8	3,1
Energieholz (mio fm/(%))	17,1 (26%)	4,9 (26,7%)
Altholz (mio to/(mio fm ¹)), über alle Kategorien	10 (17,3)	1,3 (2,2)
Aufteilung des Anfalls einzelner Kategorien (%)	AI 38%; A II 50%; AIII 1%; A IV 11%	
Zellstoff-/Holzstoffproduktion Rohstoffeinsatz		
Rundholz (mio fm)	5,8	4,0
Hackgut (mio fm)	2,5	4,2
Altpapier (mio to)	16,1	2,6

¹⁾ Umgerechnet von to in äquivalente fm nach [14], 1 fm (als Volumensangabe für Rundholz) $\cong 1\text{m}^3$

²⁾ Lagerveränderung und Export/Import nur teilweise berücksichtigt bei prozentueller Angabe

³⁾ Klammerausdruck für 2021 als Schadholzbedingter Höchstwert, sonst für Zeitspanne der letzten Jahre

Werden neben dem reinen Holzeinschlag aus dem Wald auch weitere Primär- und Sekundärressourcen wie Rinde, Landschaftspflegeholz, Altholz usw. mit eingerechnet, dann ergibt sich ein Wert von 127,2 Mio. Kubikmeter and Holzrohstoffen für Deutschland, mit einem Anteil von Altholz von 11,5% (Abb.).

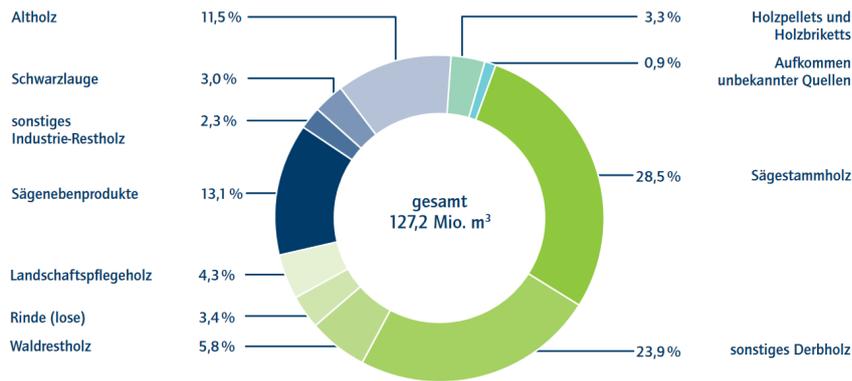


Abbildung 4: Verwendung von Holzrohstoffen 2016 nach Nutzergruppen in Deutschland. Quelle [12], überarbeitete Daten in Anlehnung an [14] und Daten von INFRO e.k. (2018).

4.2. Die Nutzungspfade von Altholz

Altholz wird grundsätzlich energetisch bzw. stofflich genutzt, wobei die jeweiligen Richtlinien und Verordnungen die Pfade vorgeben (Kategorie A I bis A IV etc.) und Sonderfraktionen müssen entsprechend entsorgt werden. Für Deutschland beträgt die Aufteilung etwa 79% energetische sowie 15% stoffliche Nutzung und 6% müssen entsorgt werden [6]. In Österreich ist der Anteil der stofflichen Nutzung deutlich höher im Verhältnis von 75% stofflich und 27% thermisch [15], wobei mit der Recyclingholznovelle 2018 [4] die stoffliche Nutzung auch prioritär vorgegeben wird. Wichtig ist dabei die Einhaltung der Vorgabe!

Der vergleichsweise hohe Anteil an energetisch genutztem Holz in Deutschland dürfte neben der Materialzusammensetzung auch der EEG-Anreize (Erneuerbaren Energie Gesetz) geschuldet sein [19]. Aktuell sind das Altholzaufkommen und damit die Preisbildung durch vielerlei Faktoren, etwa eine stagnierende Bauwirtschaft, einen Wettbewerb um verbleibende Mengen (etwa für die Holzwerkstoffindustrie) und die thermische Verwertung gekennzeichnet. Zudem beschäftigt die Branche das Auslaufen der EEG-Förderung, wobei eine geplante Anschlussförderung für Altholz-Anlagen Ende 2021 von der Europäischen Kommission abgelehnt wurde.

International folgen der Anfall und die Nutzung von Altholz demselben Schema, die jeweiligen prozentuellen Anteile von energetischer und stofflicher Nutzung, die Kategorisierung der Altholzklassen sowie Entsorgung differieren jedoch von Land zu Land (Abb. 5).

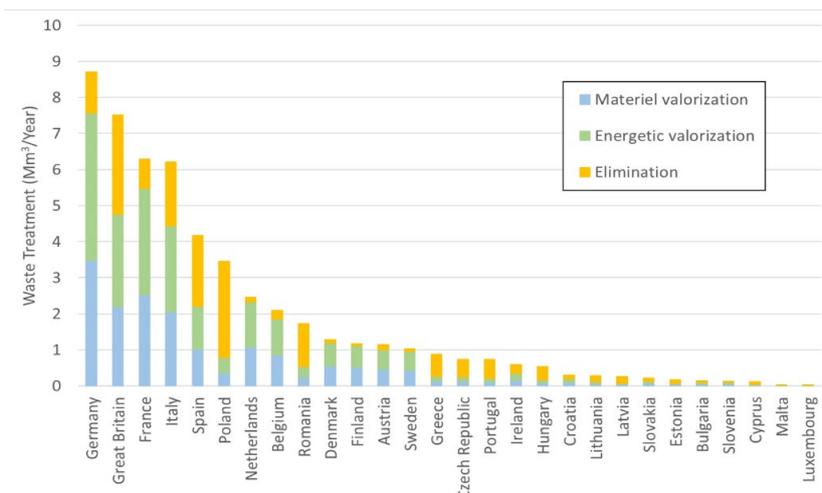


Abbildung 5: Altholzmengen in Mio. Kubikmeter mit Darstellung der stofflichen und energetischen Nutzung sowie der Entsorgung nach [16] basierend auf auf [17] mit Daten aus 2010.

In Österreich und Deutschland wird aufbereitetes Altholz primär in der Holzwerkstoffindustrie (Spanplattenproduktion) eingesetzt. Die Verwendung von Altholz in Pyrolyseanlagen sowie zur Herstellung von Aktiv- und Industriekohle oder zur Holzvergasung spielt derzeit keine Rolle. Ein gutes Beispiel für die in Abb. 1 dargestellte Produktüberholung/Reparatur ist die Euro-Mehrwegtauschpalette EPAL. Aktuell sind ca. 600 Mio. EPAL Paletten im Umlauf, wobei jährlich etwa 100 Mio. Stück Paletten produziert werden und aus dem gesamten Umlauf etwa 30 Mio. Stück repariert werden [18]. Die Gesamtproduktion an Paletten (Einwegpaletten, Kisten etc.) liegt noch weit höher und ist damit eine wesentliche Ressource für Altholz der Klasse A1.

Projekte wie beispielsweise «The Cradle» (Bürogebäude Düsseldorf, DE) oder «Timber Loop» (Holzforschung Austria und Projektpartner) zeigen, dass derzeit im Bauwesen ein Umdenken bei der Bauplanung in Hinblick auf einen zukünftigen Rückbau mit möglichst hohem Anteil von wiederverwertbaren Komponenten gegeben ist.

4.3. Das Materiallager Holz

Das Materiallager Frischholz (Wald) ist durch gesetzlich vorgegebene Bestandsaufnahmen genau dokumentiert, ebenso wie seine Dynamik durch Altersklassen, Umtriebszeiten und jeweiligen Inputs (Zuwachs) und Outputs (Holzeinschlag/Ernte) vgl. Tab. 1 bzw. [14].

Das Materiallager «verbautes Holz», primär im Hochbau bzw. Holz in mobilen Holzprodukten (Paletten, Verpackung, Möbel etc.) ist hingegen nur bedingt bekannt. Lediglich die Input-Daten (Produktion bzw. Inlandsbedarf von Holz und Holzprodukten) sowie der Output über die erfassbaren Altholzströme sind durch entsprechende Statistiken bekannt. In einem Materialflußmodell für das Baustofflager «Hochbau» wird für Deutschland im Jahr 2010 ein Bestandes Lager von Bauholz von über 300 Mio. Tonnen (ca. 600 Mio. m³) ausgewiesen [20]. Das entspricht etwa 15% des Holzvorrates im Wald nach Tabelle 1.

Im Rahmen eines Teilprojektes von CaReWood [9] haben Kalcher et al. [21] für den österreichischen Wohnbau (nicht für den gesamten Hochbau) in einer Modellrechnung für den Zeitraum 2012 bis 2100 eine Zunahme des Holzlagers «verbautes Holz» von 32 Mio. Kubikmeter auf 50 Mio. Kubikmeter mit einem Holzinput von jährlich 0,55 Mio. Kubikmeter auf 0,75 Mio. Kubikmeter. Daraus errechnet sich allein aus dem Wohnungshochbau ein potenzieller jährlich steigender Altholzanfall von derzeit 0,35 Mio. Kubikmeter auf 0,65 Mio. Kubikmeter im Jahr 2100. Weitere Materiallager Holz wie im Objekt- und Industriebau etc. konnten aus Gründen der Verfügbarkeit von statistischen Grunddaten nicht berechnet werden.

5. Zusammenfassung

- Die Nutzung und Aufbereitung von Altholz ist durch entsprechende gesetzliche Regelwerke und Verordnungen sehr detailliert geregelt.
- Der Anteil von Altholz an der Gesamtmenge der Holzernte beträgt in Deutschland und Österreich etwa 15%, wobei in Deutschland etwa 80% des Altholzes der energetischen Nutzung zugeführt werden, in Österreich nach [15] jedoch nur 27%.
- Der überwiegende Teil des aufbereiteten Altholzes (Recyclingholz) wird derzeit in der Holzwerkstoffindustrie als Sekundärrohstoff eingesetzt.
- Die jeweiligen Datenquellen variieren in diversen Angaben und das Gesamtbild der Nutzungsströme ist nicht immer kohärent nachvollziehbar.
- Ein Design für Wiederverwendung bzw. Recycling in den verschiedenen Endprodukten ist derzeit nur ersten Ansätzen erkennbar und wegen der vergleichsweise langen Nutzungszeiten von Holzprodukten gegenüber Papierprodukten, ist dadurch auch eine lange Vorlaufzeit gegeben.
- Es gibt erste Modelle, die den zu erwartenden Altholzanfall, auch durch einen verstärkten Einsatz von Holz im Bauwesen, abschätzen, sodass Altholz als zunehmend wichtiger Sekundärrohstoff angesehen werden kann.

6. Literatur

- [1] Janz, A.: Empfehlungen für die Fortentwicklung der deutschen Kreislaufwirtschaft zu einer zirkulären Ökonomie. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022
- [2] Verband Deutscher Papierfabriken (VDP): VDP Leistungsbericht PAPIER 2021. Bonn 2021
- [3] Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002), Wien 2002
- [4] Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (Recyclingholzverordnung – RHV), Wien 2023, basierend auf BGBl. II Nr. 178/2018, BGBl. II Nr. 495/2020
- [5] Altholzverordnung vom 15. August 2002 (BGBl. I S. 3302), die zuletzt durch Artikel 120 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist. BMJ, Bonn 2020
- [6] Flamme, S., Hams, S., Bischoff, J., Fricke, C.: Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2019
- [7] JRC, 2014: European Commission, Joint Research Centre – IET, Carbon accounting of forest bioenergy: Conclusions and recommendations from a critical literature review, Agostini, A., Giuntoli, J., Boulamanti, A., Marelli, L., 2014, EUR 25354 EN, Luxembourg. Publications Office of the European Union, 2014
- [8] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Brüssel 2008 (inzwischen erweitert durch Richtlinie (EU) 2018/851)
- [9] Risse, M., Richter, K.: Ökologische und ökonomische Bewertung der kaskadischen Holznutzung. CaReWood – Cascading Recovered Wood. Bericht. TUM, München 2018
- [10] Emblemssvåg, J., 2003. Life-Cycle Costing, Using activity-Based Costing and Monte Carlo Methods to Manage Future Costs and Risks. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons
- [11] EPF, Annual Report 2016–2017. Tech. Rep. European Panel Federation (EPF), Brüssel 2017
- [12] acatech (Hrsg.): Holzbasierte Bioökonomie. Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient (acatech POSITION), München 2022. DOI: https://doi.org/10.48669/aca_20224
- [13] HOLZKURIER.com: laufende Datenabfragen zu ausgewählten Stichworten. Holzkurier Wien (<https://www.holzkurier.com/>)
- [14] Mantau, U., Döring, P., Weimar, H., Glasenapp, S., Jochem, D., Zimmermann, K. (INFRO e. K. und Thünen Institut): Rohstoffmonitoring Holz. Hrsg, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), OT Gülzow, 2018
- [15] Bergamo, A., Strimitzer, L.: Die Entwicklung des Altholzmarktes. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Wien, 2022
- [16] Besserer, A., Troilo, S., Girods, P., Rogaume, Y., Brosse, N. (2021): Cascading Recycling of Wood Waste: A Review. *Polymers* 13, 1752. <https://doi.org/10.3390/polym13111752>
- [17] Vis M., U. Mantau, B. Allen (Eds.): Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels 2016. 337 pages
- [18] EPAL – The Pallet System. <https://www.epal-pallets.org/eu-de/>
- [19] Baur, F., Vogler, C. Scholl, F. (2019): Altholzkraftwerke im Post-EEG-Zeitalter. *Holz-Zbl.* 22:467-469
- [20] Deilmann, C., Reichenbach, J., Krauß, N., Gruhler, K.: Materialströme im Hochbau – Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn 2017
- [21] Kalcher, J., Praxmarer, G., Teischinger, A. (2017): Quantification of future availabilities of recovered wood from Austrian residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 123: 143-152, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.001>
- [22] ÖNORM EN ISO 14021: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II) (ISO 14021:2016 + Amd 1:2021) (konsolidierte Fassung). Austrian Standards (ASI), Wien 2021

Der Weg zum klimaneutralen Unternehmen

Dr. Denny Ohnesorge
Hauptverband der Deutschen Holzindustrie
und Kunststoffe verarbeitenden Industrie e.V. (HDH)
Berlin, Deutschland



Der Weg zum klimaneutralen Unternehmen

1. CO₂-Bilanzierung

Der Rohstoff Holz verpflichtet unsere Branche seit jeher zu einem nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen. Die KLIMASCHUTZ HOLZINDUSTRIE ist eine Initiative des Hauptverbandes der deutschen Holzindustrie (HDH) und unterstützt gemeinsam mit der *Gesellschaft für Klimaschutz für die Holzindustrie (GKH)* Unternehmen der Branche auf ihrem Weg hin zur Klimaneutralität einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Diesen beschreiten seit Einführung der Brancheninitiative Ende 2020 mittlerweile über 60 Betriebe gemeinsam. Vom Bauwesen über die Holzverpackungs- bis hin zur Möbelindustrie.

Primäres Ziel ist es, langfristig den CO₂-Fußabdruck der Unternehmen zu reduzieren und Energiekosten zu senken. Darüber hinaus wird den an der Initiative KLIMASCHUTZ HOLZINDUSTRIE teilnehmenden Unternehmen angeboten, den CO₂-Fußabdruck ihrer Produkte berechnen zu lassen. Für die entstandenen Emissionen auf Produktebene können Einsparungspotenziale definiert und unvermeidbare Emissionen durch zertifizierte Klimaschutzprojekte ausgeglichen werden. Auf dem Weg zur Klimaneutralität geht es darum, die CO₂e-Emissionen als Unternehmen so weit wie möglich und in einem kontinuierlichen Prozess zu reduzieren.

Um im Rahmen der Initiative Klimaschutz Holzindustrie die Auszeichnung «klimaneutral» zu erhalten, müssen Unternehmen im Rahmen der zweiten CO₂-Bilanzierung ihre Reduktionsmaßnahmen vorlegen. Es ist uns ein wichtiges Anliegen zuallererst die Emissionen, die ein Unternehmen verursacht, zu erkennen und gezielte Gegenmaßnahmen einzuleiten, damit nicht ausschließlich die Kompensation stattfindet. Dazu haben wir in der Vergabegrundlage unserer Initiative festgelegt, dass teilnehmende Unternehmen ihre CO₂-Bilanzierung alle zwei Jahre erneuern und ihre Reduktionsmaßnahmen vorlegen müssen.



Um uns als «klimaneutral» bezeichnen zu können, gleichen wir entstandene CO₂-Emissionen aus. Durch diese Kompensation der unvermeidbaren Emissionen erreichen wir eine bilanzielle Klimaneutralität.

Wir richten uns dabei nach dem Prinzip der im Kyoto-Protokoll beschriebenen CO₂-Kompensation, wonach Treibhausgase, die an einem Ort der Erde entstehen und nicht vermieden werden können, durch Klimaschutzprojekte an einem anderen Ort eingespart werden. Das Prinzip, dass entstandene Emissionen nicht im gleichen Land, in dem sie entstehen, kompensiert werden, soll Korruption und Misswirtschaft vorbeugen.

Neben den entstandenen Emissionen bindet auch der Rohstoff Holz langfristig CO₂ und ist damit eine natürliche CO₂-Senke, die separat zu den Emissionen dargestellt werden kann. Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern ist somit ein Grundstein für eine klimafreundliche Zukunft.

2. Grundlage der Bilanzierung von Treibhausgas-Emissionen

Die CO₂e-Bilanzen für die Unternehmen als Mitglieder der Initiative und deren Produkte werden auf Basis des international anerkannten *Greenhouse Gas Protocols* erstellt. Anhand des Emissionsberichts können zielgerichtete Reduktionsmaßnahmen abgeleitet werden. Das Greenhouse Gas Protocol (GHG), das vom World Resources Institute (WRI) und dem World Business Council on Sustainable Development (WBCSD) entwickelt wurde, ist international der am weitesten verbreitete und anerkannte Standard für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen von Unternehmen. Das GHG Protocol definiert die Grundprinzipien der Relevanz, Vollständigkeit, Konsistenz, Transparenz und Genauigkeit und lehnt sich dabei an Prinzipien finanzieller Rechnungslegung an. Weiterhin definiert das GHG Protocol Regeln zur organisatorischen Abgrenzung einer Treibhausgasbilanz und zur operativen Abgrenzung. Auf Grundlage des GHG Protocols werden betriebs- und produktbezogene Emissionen gemessen und CO₂-Emissionsbilanzen u.a. für Unternehmen oder einzelne Produkte erstellt. Dieser direkte Einblick ermöglicht es einzuschätzen, wo es nötig und sinnvoll ist, Emissionen zu reduzieren. Die zu berechnenden Emissionen werden dabei in Scope 1 bis 3 eingeteilt.

Scope 1 umfasst alle direkten Emissionen des Unternehmens, die aus dem Verbrauch von Primärenergieträgern resultieren. Dazu gehören z.B. das Verbrennen fossiler Rohstoffe zur Energieherstellung, Wärmeerzeugung oder der Betrieb aller unternehmenseigenen PKW und LKW mit Treibstoffen wie z.B. Benzin, Diesel und Erdgas. Ebenfalls relevant sind die Bereiche Prozessemissionen und die Nachfüllungen der Kühl- und Klimaanlage.

Scope 2 umfasst alle indirekten Emissionen eines Unternehmens, die aus der Erzeugung der von einem Unternehmen beschafften Energie resultieren. Dazu zählen beispielsweise durch das Unternehmen verbrauchte Sekundärenergieträger wie Strom, Fernwärme, Dampf oder Kühlungsenergie. Besteht der Fuhrpark auch oder ausschließlich aus Elektroautos, so werden die daraus resultierenden Emissionen im Bereich Scope 2 im Bereich des verbrauchten Stroms erhoben.

Scope 3 umfasst alle indirekten Emissionen, die aus dem Ablauf aller täglichen Unternehmensprozesse sowie dem Produktlebenszyklus resultieren und im Rahmen der Erhebung von Scope 3 Emissionen auf Grundlage des GHG Corporate Accounting and Reporting Standard erhoben werden können. Dabei wird zwischen vor- und nachgelagerten Prozessen in der Wertschöpfungskette unterschieden.

3. In Nachhaltigkeitsberichterstattung einsteigen

Gemeinsam mit den Unternehmen erarbeiten wir umfassende Nachhaltigkeitsstrategien. Diese können direkt angewendet oder als Grundlage für den Nachhaltigkeitsbericht verwendet werden. Teil der Strategie sind klare Ziele und Maßnahmen, die die praktische Umsetzbarkeit sicherstellen. Wir unterstützen Sie vom ersten Workshop bis zur mehrjährig ausgerichteten Nachhaltigkeitsstrategie.

Wir unterstützen die Unternehmen bei der Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten nach dem Global Reporting Initiative-(GRI)-Standard. Dabei werden die neuen Berichtspflichten auf EU-Ebene verfolgt und die Anforderungen zur Berichterstattung fortlaufend integriert. Beim einem ersten Erfahrungsaustausch bei der *SchwörerHaus KG* im Dezember 2022 wurde deutlich: Die Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts kann in ersten Schritten im Kleinen beginnen und dann sukzessive nach Bedarf umfangreicher werden. Vor der Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts steht eine Wesentlichkeitsanalyse unter allen Stakeholdern, die auf Basis von Umfragen u.a. bei Kunden, Mitarbeitern, Lieferanten, Kommune und Interessenten durchgeführt wird. Das Ziel: Angesichts einer Fülle von Nachhaltigkeitsthemen Prioritäten für jedes Unternehmen setzen.

4. Erste Ergebnisse der Aktivitäten

Ein Großteil der Unternehmen, die sich der Initiative Klimaschutz Holzindustrie angeschlossen haben, setzen zumindest teilweise auf erneuerbare Energien. So gehört für das Gros der Teilnehmenden aus der Holzindustrie selbst erzeugter Strom aus regenerativen Energien zur Versorgung, ebenso wie Wärme aus Holzhackschnitzeln oder Pellets. Für die CO₂-Bilanz ist die Energieversorgung ein entscheidender Faktor. Gleichzeitig geht der Austausch in der Initiative aber weit über das Thema Energie hinaus.

Die Unternehmen der Initiative bekennen sich deutlich zum Klimaschutz. Aber Sie fordern für das Engagement auch eine stärkere Gewichtung von Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsaspekten in der Ausschreibung bei öffentlichen Institutionen. Klimaschutz soll belohnt werden und zum Nachahmern anregen.

5. Diskussion um den Begriff Klimaneutralität

Der Begriff der Klimaneutralität ist gesellschaftspolitisch immer mal wieder in der Diskussion – insbesondere, wenn Wirtschaftsunternehmen mit dem Begriff das Unternehmen und Produkte bewirbt. Vereinzelt wird Unternehmen Greenwashing und Irreführung vorgeworfen, speziell wenn bilanziell (noch) nicht vermeidbare Emissionen durch Klimaschutzzertifikate und so der CO₂-Fußabdruck der Unternehmen ausgeglichen werden.

In einigen Fällen wurden Unternehmen beklagt, die für sich oder ihre Produkte den Begriff klimaneutral verwendeten. In einem jüngeren Urteil hat das Oberlandesgericht Schleswig Ende Juni 2022 die Verwendbarkeit des Begriffs «klimaneutral» in Werbeaussagen von Unternehmen bestätigt. Das Urteil (Az.: 6 U 46/21) gilt als richtungweisend: Es erkennt an, dass vor allem an Umweltaussagen interessierte Verbraucherinnen und Verbraucher durchaus Wissen und Verständnis darüber haben, was Klimaneutralität bedeutet und die ausgeglichene Emissionsbilanz durch Kompensationsmaßnahmen erzielt werden kann.

Anders als in dem nicht klar definierten Begriff «umweltfreundlich» stecke in dem Begriff «klimaneutral» eine klare und auf ihren Wahrheitsgehalt überprüfbare Aussage darüber, dass ein Produkt eine ausgeglichene, also neutrale CO₂-Bilanz aufweist. Das Gericht sieht es bei Verbraucherinnen und Verbrauchern als allgemein verstanden an, dass kommerzielle Produkte nicht ohne jeden CO₂-Ausstoß hergestellt werden können und es keine emissionsfreien Produkte gibt. In aller Eindeutigkeit hält das Gericht ein Missverständnis darüber erst recht dann für ausgeschlossen, wenn die Aussage der Klimaneutralität von einem hinweisenden Label begleitet wird, welches auch die Klimaneutralität durch Kompensation zusätzlich hinweist und Informationen zu Klimaschutzprojekten bereithält, mit deren Unterstützung schließlich der Ausgleich stattgefunden hat.

Neben der juristischen Bewertung dreht sich die Diskussion jedoch hauptsächlich um die Wirkung der Klimaschutzprojekte. Mittlerweile sind sehr viele Projekte am Markt und nicht jedes unterwirft sich den strengen internationalen Standards. Deshalb lassen wir bei der Auswahl der Projekte, die zur Kompensation der Treibhausgase gefördert werden, größte Sorgfalt walten. Es werden jeweils nur Projekte unterstützt, die nach einem der drei international anerkannten Zertifizierungsstandards (CDM, VCS, Gold Standard) akkreditiert, freigegeben und kontrolliert werden. Die Validierung der Projektergebnisse in Bezug auf die erzielten CO₂-Einsparungen wird durch unabhängige Prüfinstanzen bescheinigt. So können wir einen hohen Qualitätsstandard der Klimaschutzprojekte gewährleisten.

6. Ausblick

Die Mitglieder der Initiative bemühen sich intensiv und fortlaufend um Reduzierung von Emission. Völlig vermieden werden, können sie derzeit auch in unserem Industriezweig noch nicht. Dazu müssten auch alle in der Wertschöpfungskette vorgelagerten Emissionen reduziert werden können. Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien, wird es der Wirtschaft und den Haushalten ermöglicht, die Emissionen weiter zu senken. Daher ist der Ausbau der erneuerbaren bzw. emissionsarmen Energien immens wichtig auf dem Weg zur Klimaneutralität der Unternehmen wie auch Deutschlands.

Block A1
Möbel: Biobasierte Holzwerkstoffe
und Beschichtungen

Neue Wege/Möglichkeiten (Recycling) der MDF-Produktion

Marco Mäbert
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Dresden, Deutschland



Prof. Dr. Detlef Krug
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Dresden, Deutschland



Neue Wege/Möglichkeiten (Recycling) der MDF-Produktion

1. Einleitung

Das wirtschaftliche Umfeld der Holzwerkstoffindustrie erfordert kontinuierliche Bestrebungen zur Kostenoptimierung im Sinne der Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Die Hauptansatzpunkte sieht die Industrie, neben der Senkung der Fixkosten durch Presszeitverkürzung, in der Verringerung der Holzkosten durch das Reduzieren der Rohdichte der Holzwerkstoffe, der Optimierung der Leimkosten durch den Einsatz effizienter Klebstoffe und der Reduzierung der Energiekosten (Weinkötz 2017).

Allerdings sind den Bemühungen zur Kostensenkung zum Teil technologische, wettbewerbliche oder gesetzliche Grenzen gesetzt.

Ein Potential zur Kostenreduzierung bzw. vor dem Hintergrund in absehbarer Zeit eintretender geringerer Holzverfügbarkeit (Steckel 2021) zur Kostenstabilisierung besteht jedoch in der Verringerung des Frischholzeinsatzes. Neben der Rohdichtereduzierung, die von den Herstellern nur im Rahmen anwendungsbedingt geforderter Produkteigenschaften durchgeführt werden kann, wird in den letzten Jahren verstärkt stofflich verwertbares Altholz als Alternativrohstoff eingesetzt. Allerdings ist die Verwendung von Altholz derzeit hauptsächlich bei der Herstellung von Spanplatten, mit einem Anteil von 30 – 40 % an der eingesetzten Holzmenge, bekannt (Mantau et al. 2018; Meinschmidt et al. 2016; Strohmeyer 2018).

Trotz des erheblichen Potentials zur Kostenreduzierung und der bestehenden Verfügbarkeit ist nahezu kein Altholzeinsatz bei der Herstellung von MDF zu verzeichnen (Strohmeyer 2018). Neben der Störstoffproblematik, die bereits forschungsseitig bearbeitet wird, ist ein weiterer Hinderungsgrund für den Einsatz von Altholz bei der MDF-Herstellung der geringe Holzfeuchtegehalt des Altholzes von 6 – 15 % (FEHR Umwelt Ost GmbH, Fiedler, Mario 2018). Die Faserqualität wird unter anderem entscheidend durch Hackschnitzelfeuchte (native Feuchte, Auffeuchtung im Kocher) und Aufschlusstemperatur bzw. -druck beeinflusst. Hackschnitzel mit geringem Feuchtegehalt weisen eine erhöhte Sprödigkeit und Steifigkeit auf und führen zur Erzeugung von Faserstoff mit hohem Splitter- und Kurzfaserteil (Roll 2010). Eine rasche Auffeuchtung von Hackschnitzeln mit geringem Feuchtegehalt (Altholzhackschnitzel) innerhalb weniger Minuten, die einen industriüblichen Durchsatz von ≥ 30 t/h gewährleistet, ist mit der konventionellen Anlagentechnik (Kocher der Zerkleinerungsanlage) selbst unter Einsatz einer Hackschnitzelwäsche nur bedingt möglich.

Eine weitere Rohstoffquelle besteht zukünftig in der Verwendung von Recyclingfasern, hergestellt aus Alt-Faserplatten (Material, das den Prozess zur Herstellung von Faserplatten bereits einmal durchlaufen hat). Aufgrund der Novellierung des Kreislaufwirtschaft-Gesetzes wird die Rücknahme und Verwertung der Produkte nach der Nutzung verpflichtend (Bundesministeriums der Justiz 24.02.2012, Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020 I 2232). Die bisherige Strategie, Holzwerkstoffe und damit auch Faserplatten nach dem Ende der Nutzung komplett thermisch zu verwerten, wird sich demnach verändern. Herausforderungen bei der Gewinnung von Recyclingfasern aus Faserplatten sind die Abtrennung der Beschichtung vom Trägerwerkstoff und ein ressourcenschonendes, mechanisches bzw. thermo-mechanisches Auflösen der Faserplatten-Hackschnitzel. Letzteres bedarf, vergleichbar zu Altholz, einer Auffeuchtung der trockenen Faserplatten-Hackschnitzel mit dem Ziel einer Hydrolyse der im Wesentlichen auf Harnstoff-Formaldehyd-Harzen beruhenden Faserbindung. Zudem ist eine weitere Kürzung der im Faserplattensubstrat vorliegenden Fasern zu vermeiden.

2. Stand der Technik

2.1. Thermomechanischer Aufschluss von Lignocellulosen

Die industrielle Herstellung von lignocellulosen Faserstoffen ist ein kontinuierlicher Prozess. Dieser beginnt nach der ggf. installierten Hackschnitzelwäsche (temperiertes Waschwasser) mit der hydrothermischen Vorbehandlung der Hackschnitzel (Frischholz) mit einem saisonal schwankendem Feuchtegehalt von 80 – 140 % im Vordämpfer, wobei diese auf 70 bis 80 °C erhitzt werden. Vom Vordämpfer gelangen die Schnitzel über eine Transport- und Entwässerungsschnecke in den Vorwärmer (auch Kocher genannt), in dem sie mit Dampf (8 – 10 bar Überdruck) eine gewisse Zeit (2 – 5 min) plastifiziert werden. Transportschnecken fördern die Hackschnitzel anschließend zur Zerfaserung zwischen zwei Mahlscheiben in den Refiner. Danach gelangen die Fasern über die Blowline (in der die Fasern mit Leim beaufschlagt werden können) zum Stromtrockner, indem die Trocknung der Fasern auf einen Feuchtegehalt von 8 – 10 % bei Eingangstemperaturen von 130 – 200 °C in wenigen Sekunden erfolgt (Krug et al. 2011).

Die Faserqualität wird neben der Dimension des Mahlspaltes (Abstand der Mahlscheiben) und der Profilierung der Mahlscheiben von der Plastifizierung des Rohmaterials bestimmt, die von der Partikelgröße, -temperatur sowie -feuchte der Hackschnitzel und vom Druck/ Temperatur sowie der Verweilzeit im Kocher abhängt. Zur Faserherstellung werden Hackschnitzel mit einer Länge von mindestens 30 mm hergestellt, um vor der Zerfaserung eine Verringerung der nativen Holzfaserlänge bei der Hackschnitzelherstellung zu vermeiden. Eine unvollständige Plastifizierung, aufgrund geringer Hackschnitzelfeuchte bzw. Erweichung der Zellstruktur des Holzes führt zur Materialzerschneidung zwischen den Mahlscheiben im Refiner und damit zur Erzeugung eines hohen Splitter-, Staub- und Kurzfaserteils (Roll 2010). Die konventionelle Anlagentechnik mit den entsprechenden technischen Grenzwerten und den von der Geschwindigkeit des Gesamtprozesses (kontinuierlicher Prozess) abhängigen Aufschlussparametern lässt nur einen bedingten Ausgleich von Temperatur- und Feuchteschwankungen der Hackschnitzel zu, was zu Unterschieden in der Plastifizierung führen kann. Mit den vorhandenen Anlagen zur Hackschnitzelplastifizierung ist nahezu keine Anhebung des geringen Feuchtegehaltes von sehr trockenem Altholz und Alt-MDF bzw. daraus hergestellten Hackschnitzeln möglich und aus der Zerfaserung mit industrieüblichen Refinern resultiert eine deutliche Verringerung der Faserqualität.

Erbreich (2004) konnte durch eine Wasserlagerung über eine Dauer von 24 Stunden den Feuchtegehalt anheben und den Langfaseranteil unter niedrigen Aufschlussbedingungen (3,9 bar Überdruck, 3 min Verweilzeit) bei Kiefernaltholz um 35 % und bei Kiefernfrischholz um 49 % gegenüber nicht in Wasser gelagerten Sortimenten steigern. Ähnliches zeigte sich bei der Lagerung der Hackschnitzel in mit 5 % Natriumsulfit versetztem Wasser über 24 Stunden. Allerdings ist eine 24-stündige Wasserlagerung nach der Hackschnitzelherstellung aus Rundholz und vor der Zerfaserung im kontinuierlichen industriellen Prozess bei einem Faserstoffdurchsatz von ≥ 30 t/h mit der Zwischenlagerung von einigen 100 Tonnen Hackschnitzeln verbunden. Erwartungsgemäß konnte Erbreich (2004) zeigen, dass der Langfaseranteil bei der Zerfaserung unter intensiveren Aufschlussbedingungen (intensivere Plastifizierung) gegenüber der Variante mit niedrigem Aufschlussdruck anstieg. Allerdings zeigte Kiefernaltholz gegenüber der Kiefernfrischholzvariante einen geringeren Langfaser- und höheren Feinanteil.

Andere Technologien zur Erleichterung der Auflösung des Faserverbundes im Refiner wie enzymatische Behandlung (Kharazipour et al. 1997) oder Bestrahlung (Bäurich et al. 2012) der Hackschnitzel wurden ebenfalls aufgrund der langen Inkubationszeiten bisher nicht industriell umgesetzt.

Ein weiteres für den Aufschluss von Lignocellulosematerial wie Holz prädestiniertes Verfahren ist der Steam-Explosion-Prozess (SE-Prozess) (Kasal et al. 2019; Lesar et al. 2016; Schutyser et al. 2018). Dies ist eines der am häufigsten eingesetzten Verfahren zum Aufschluss von Lignocellulose haltigem Material im Rahmen von Bioraffinerie-Prozessen (Moreno und Olsson 2017). Genutzt werden dabei sowohl physikalische als auch chemische Aufschlussprinzipien. Der Prozessablauf beinhaltet folgende Hauptschritte und Wirkprinzipien:

Zunächst wird das zerkleinerte Material unter hohem Druck und hoher Temperatur (160 °C bis 360 °C) über einen Zeitraum von wenigen Sekunden bis Minuten von Dampf durchdrungen und aufgrund Kondensation befeuchtet. Durch eine schlagartige Entspannung wird das in den Material-Strukturen kondensierte Wasser verdampft. Dadurch wirken starke Scherkräfte auf die umgebenden Strukturen, was zum mechanischen Aufbruch des lignocellulosischen Stoffverbundes führt (Kasal et al. 2019; Wertz et al. 2017). Der SE-Aufschluss von Holz, basierend auf Entwicklungen von Mason (1926a, 1926b) und Babcock (1932), mit Zusatz von Katalysatoren bzw. Hilfsstoffen als Vorbehandlung vor der enzymatischen Hydrolyse wurde bereits vielfach in der Literatur beschrieben (Review in (Wertz et al. 2017)). Am intensivsten wurde der Einfluss von Säurezusätzen untersucht (Galbe und Zacchi 2002). Weitere Studien erfolgten mit SO₂ und H₂SO₄ (Stenberg et al. 1998; Tengborg et al. 1998; Wang et al. 2015), alkalischen Stoffen (Ammoniak – AFEX-Verfahren) und ionischen Flüssigkeiten (Swatloski et al. 2002; Wang et al. 2015; Wertz et al. 2017), Wasserstoffperoxid und superkritischem CO₂ (Wertz et al. 2017). Nach Galbe und Zacchi (2002) ist die Säure-katalysierte SE für den Aufschluss von Nadelholz am effektivsten. Beim Aufschluss von Laubholz hingegen ist aufgrund geringerer Ligningehalte und weniger kompakter Materialstrukturen keine bzw. eine reduzierte Katalysatorzugabe erforderlich.

Aktuelle Entwicklungen von Unilin Panels nutzen den SE-Prozess im Pilotmaßstab zum Recycling von Faserplatten und bringen die Recyclingfasern, derzeit noch in geringem Anteil, wieder in den MDF-Herstellprozess ein (Steckel 2022).

2.2. Rohstoffgewinnung zur MDF-Herstellung durch Recycling von Holzwerkstoffen

Ein weiterer Weg der Rohstoffbereitstellung für die Holzpartikelwerkstoffherstellung, der in verschiedenen Forschungsvorhaben bereits untersucht wurde, besteht im Recycling von gebrauchten Holzpartikelwerkstoffplatten. Sandberg (1963) entwickelte 1963 ein Verfahren zur Gewinnung von Spanmaterial aus Spanplattenabschnitten der Fixmaßherstellung unter Einwirkung von überspanntem Dampf (4 bar Überdruck, 2,5 – 3 Stunden Verweilzeit). Diesbezüglich schränkte Schlipphak (1965) die Wiederverwendbarkeit des Materials bei der Spanplattenherstellung auf bis zu 30 % ohne einen Eigenschaftsverlust der Platten ein. Dieses Verfahren wurde von Michanickl und Boehme (1996) für die Aufarbeitung von Altmöbeln und Produktionsreststücken aufgegriffen und durch die Zugabe einer Imprägnierlösung unter Unterdruck zur Aufquellung des Holzgefüges vor der Dampfbehandlung (110 °, 20 min Verweilzeit) optimiert (Michanickl und Boehme 1995). Die Firma Pfeleiderer verzichtete bei der Weiterentwicklung auf die Zugabe der Imprägnierlösung und konnte die Verweilzeit, durch die Erhöhung der Temperatur (180 °C), auf 2 min verringern (Kirchner 2002; N.N. 1992).

Roffael (1995) entwickelte ein Verfahren zur Aufbereitung von Altspanplatten, bei dem die Platten zu Hackschnitzeln verarbeitet, anschließend mit Weiß-, Braun- oder Moderfäulepilzen beimpft und vier Wochen gelagert wurden. Danach erfolgte der Aufschluss der Hackschnitzel mit einer Natriumhydroxidlösung bei 180 °C und einer im Vergleich mit der Industrie sehr hohen Verweilzeit von 30 min.

Ein weiteres von Roffael et al. (2016) entwickeltes Verfahren beinhaltet den Aufschluss von zu Hackschnitzeln zerkleinerten MDF unter Anwendung der konventionellen Zerfasertechnologie bei industrieüblichen Aufschlussbedingungen (9 bar Überdruck, 4 min Verweilzeit). Mit dem gewonnenen Faserstoff wurde 33 % und 67 % an Faserstoff aus Holzhackschnitzel substituiert und sogar Platten aus 100 % Recyclingfaserstoff hergestellt. Die hergestellten MDF wiesen gegenüber den MDF aus Frischholzfasern eine verringerte Dickenquellung, Wasseraufnahme und Formaldehydabgabe auf. Die Querkzugfestigkeit sank hingegen mit zunehmendem Recyclingfaseranteil.

Das Reholz-Verfahren, das von Möller und Herrlich (1994) entwickelt wurde, beruht auf der Zerteilung von Altplatten zu sogenannten Plättchen und der anschließenden Verklebung derselben mit Phenolharz zu Platten. Aufgrund des verwendeten Schneidprinzips werden Metallteile bis zu einem Durchmesser von 10 mm mit zerkleinert. Derartige Platten wurden im Verpackungs- und Verschalungsbereich verwendet (Erbreich 2004).

Bartlett (2012) berichtet über eine von New (2009) entwickelte Technologie zum kontinuierlichen Auflösen von beschichteten und unbeschichteten MDF in einem Wasserbad bei einer Temperatur zwischen 80 – 99 °C. Zunächst werden aus MDF Hackschnitzel hergestellt. Nach der Entfernung von Eisen- und Nichteisenmetallen sowie der Abtrennung von Staub gelangen die Hackschnitzel in ein Wasserbad. Das Wasser wird über die Ohm'sche Erwärmung erhitzt und mit bis zu 20 bar Überdruck beaufschlagt, der anschließend schlagartig abgebaut wird. Danach erfolgen die Reinigung und Trocknung des Faserbreis. Diese Rohstoffgewinnung ist für die Verarbeitung von Produktionsabfällen im MDF-Werk vorgesehen und wurde bisher im Pilotmaßstab umgesetzt (N.N. 2018, 2021)

3. Neue Möglichkeiten der Fasergewinnung zur MDF-Produktion

3.1. Modifizierter TMP-Prozess

Neben der Erarbeitung einer Altholzaufbereitungstechnologie, insbesondere der Kategorie A I, zur Eliminierung von Störstoffen (Metallteilen, Kunststofffolienresten) und damit zur prinzipiellen Ermöglichung des Einsatzes von Altholz bei der Herstellung von MDF sowie der Entwicklung einer Technologie zur Herstellung von Hackschnitzeln, in einer für die MDF-Herstellung üblichen Größe, aus vorgebrochenem Altholz der Kategorie A I und Alt-MDF wurde die IHD-Zerfaserungsanlage zur Herstellung von Thermo Mechanical Pulp (TMP) an verschiedenen Stellen modifiziert. Ziel dieser Modifizierungen war die Herstellung von Faserstoff hoher Qualität aus Altholz- und Alt-MDF-Hackschnitzeln mit einem Feuchtegehalt unterhalb des Fasersättigungsbereiches bei industrieüblichen Durchsatzzeiten.

Dazu wurde der Bereich der Kocherbeschickung konstruktiv verändert, um die Permeabilität der Hackschnitzel für den Dampf im Kocher zu erhöhen. Weiterhin erfolgte der Umbau des Kochers zur Gewährleistung einer maximalen Dampfdurchdringung der Hackschnitzelmenge mit dem Ziel einer hohen Dampfdiffusion in die Hackschnitzel und der Kondensation des Dampfes im Hackschnitzel. Zudem war die Konstruktion einer Faserabführung zum direkten rückstaufreien Faseraustrag aus dem Refinergehäuse und zur Vermeidung von nachträglicher Faserkürzung im Ringraum des Refinergehäuses unerlässlich. Zur Entwicklung kam ein im IHD entwickeltes modular aufgebautes Refinergehäuse zum Einsatz (Abbildung 1).



Abbildung 1: Modular aufgebautes Refinergehäuse des IHD mit Mahlscheiben.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Refinergehäusen, kann bei dem modularen Gehäuse das Mahlraumelement mit dem Faserauslass (vgl. Abbildung 1, Mahlraumelement mit radial und tangential angeordnetem Auslass) vergleichsweise einfach demontiert und modifiziert werden. Demzufolge ist eine Veränderung des Auslasses im Vergleich zu einer herkömmlichen Anlage mit geringerem Aufwand verbunden.

Mit dem modifizierten TMP-Prozess des IHD konnte Faserstoff aus Altholz und Alt-MDF hergestellt werden (Abbildung 2).

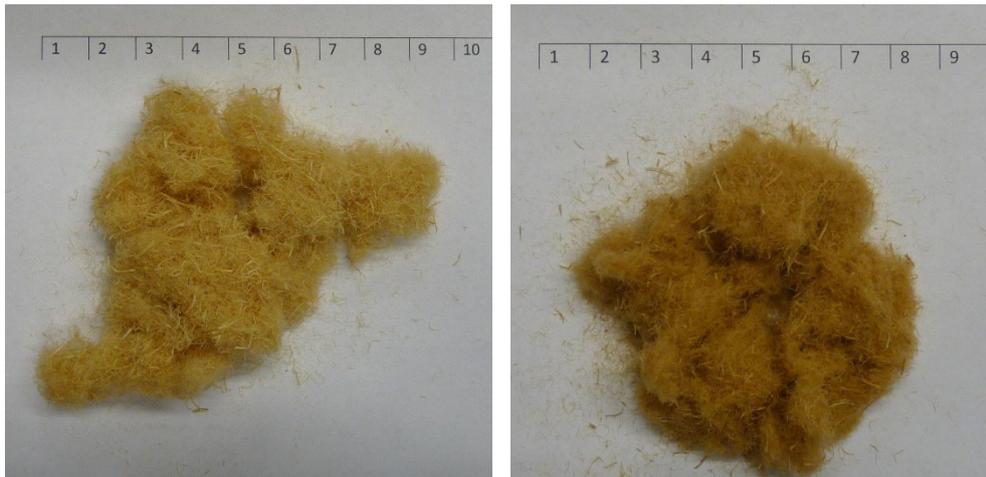


Abbildung 2: Faserstoff hergestellt im modifizierten TMP-Prozess des IHD, Links aus Altholz; Rechts aus Alt-MDF.

3.2. Steam-Explosion-Prozess

Im IHD wurde ein Steam-Explosion-Reaktor (SE-Reaktor) aufgebaut, der eine optimierte Vorbehandlung der Lignocellulose-Hackschnitzel (u.a. Alt-MDF) vor der Dampfbeaufschlagung für eine intensivere Dampfpenetration ermöglicht. Zudem erfolgte die Konstruktion des Reaktors in der Weise, dass eine gleichmäßige Dampfdurchdringung der Materialschüttung im Reaktor erzielt und ein einheitliches Temperaturniveau erzeugt werden kann. Beide Neuerungen haben die Aufschlussintensivierung durch eine intensivere Dampfpenetration in das Material zum Ziel und bewirken ggf. die Reduzierung des Aufwandes für die energieintensive mechanische Vorzerkleinerung bei vergleichbarem Aufschlussgrad bzw. die Erhöhung des Aufschlussgrades bei vergleichbarer Partikelvorzerkleinerung. Der Reaktor wurde auf einen Maximaldruck von 32 bar Überdruck bzw. eine maximale Temperatur von 240 °C ausgelegt und so konstruiert, dass nach der Steam Explosion nahezu kein Material im Behälter verbleibt.

Für die verlustfreie Erfassung aller Stoffströme (feste, flüssige und gasförmige Komponenten des Endproduktes) wurde ein kugelförmiger Auffangbehälter konzipiert und mit dem SE-Reaktor verbunden. Das Volumen der beiden Behälter wurde aufeinander abgestimmt, dass über einen bestimmten Zeitraum eine kontinuierliche Steam Explosion durchgeführt werden und im Auffangbehälter kein Überdruck entstehen kann (Abbildung 3).



Abbildung 3: Steam-Explosion-Anlage des IHD.

Die gesamte SE-Anlage wird über ein Prozessleitsystem gesteuert, das eine hohe Reproduzierbarkeit des Prozesses gewährleistet sowie eine Erfassung und automatische Ablage der Anlagendaten ermöglicht.

Die Steam-Explosion-Anlage des IHD ermöglichte die Faserstoffherstellung aus Alt-MDF (Abbildung 4).



Abbildung 4: Faserstoff hergestellt aus Alt-MDF in der Steam-Explosion-Anlage des IHD TMP-Prozess.

3.3. Pulping-Prozess (Valmet)

Vorsortierte, gebrochene Faserplatten (HDF/MDF, Größe ca. 40 mm x 40 mm), die auch noch andere Fremdbestandteile z.B. Beschichtungen, Kunststoffe etc. beinhalten können, werden in einem speziellen Aggregat mit Dampf hydrolysiert (Abbildung 5).



Abbildung 5: Links, vorgebrochenes HDF/MDF (beschichtet); Rechts, Hydrolysationseinheit (Mohr und Krug 2022).

Zur kompletten Auflösung des Faserverbundes erfolgt eine Weiterverarbeitung in einem, in der Papierindustrie weit verbreiteten Aggregat, dem sogenannten Pulper. Bei niedriger Stoffdichte werden die Faserbündel mit einem Rotor desintegriert. Nach einer gewissen Verweilzeit wird die Fasersuspension durch eine, unter dem Rotor montierten Siebplatte abgepumpt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Links, Pulper-Einheit; Mitte, Pulper-Einheit mit Material; Rechts: Screening-Einheit (Mohr und Krug 2022).

Die nicht aufgelösten Bestandteile werden in eine Siebtrommel gepumpt, in der noch anhaftende Fasern abgespült und zurück in den Pulper gebracht werden. Die Fremdbestandteile fallen am Trommelausgang in einen Auffangbehälter bzw. auf ein Förderband und können entweder stofflich in der Spanplatte oder thermisch verwertet werden.

Die «Gutfasern» werden von einem Zwischenbehälter aus in einen, für die Holzfasern adaptierten, Drucksortierer transportiert. Über speziell für Holzwerkstoff-Fasern gefertigte Siebkörbe werden dann die «Gutfasern» von Laminatpartikeln und Grobfaserbündeln im Niedrigkonsistenzbereich getrennt. Die dann vorliegende Fasersuspension wird auf möglichst hohe Konsistenz entwässert. Aufgrund eines sehr niedrigen Mahlgrades nach Schopper-Riegler ($^{\circ}\text{SR}$, Kenngröße für das Entwässerungsverhalten) lassen sich die Fasern vergleichsweise leicht entwässern.

Nach der Entwässerung liegen die Fasern als lose Faserbündel vor. Dieses Material entspricht gebleichten Zellstoff-Fasern, bevor diese in einem Flockentrockner getrocknet werden. Um die Fasern zu vereinzeln, setzt Valmet in vielen Anlagen weltweit Fluffer ein, die bei geringem Krafteintrag wirkungsvoll sind. So sind die Fasern für Druckluftanlagen blasfähig (Abbildung 7).

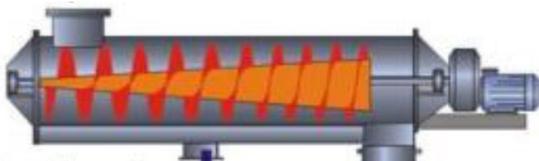


Abbildung 7: Links, Dewatering-Einheit; Rechts, Fluffing-Einheit (Mohr und Krug 2022).

Dieses Konzept wird auch für die aufbereiteten Holzwerkstoff-Fasern genutzt, wobei die Fasern mit einem zweiten Blasrohr in den vorhandenen Faserstofftrockner der MDF-Anlage geblasen werden. Viele MDF-Anlagen weltweit nutzen zwei Refiner mit einer dann guten Faserdurchmischung in einen Stromtrockner. Der anteilige Einsatz aufbereiteter Recyclingfasern für HDF oder MDF wären mit diesem Verfahren gut steuerbar.

Um die wesentlichen Prozessschritte industriemäßig zu testen, erfolgten bei Valmet 2020 und 2021 Pilottests. Dabei wurden pro Versuchstag mehrere Tonnen Recyclingmaterial (beschichtete HDF und MDF) aufbereitet. Faserstoffe aus verschiedenen Tests wurden dem IHD zur weiteren Aufbereitung und Herstellung von Faserplatten zur Verfügung gestellt.

Bei dem Versuchsmaterial handelte es sich um feuchten Recycling-Faserstoff aus Nadelholz, der über einen Bypass in den 85 m langen Stromtrockner der Refiner-Pilotanlage des IHD eingebracht und bei Temperaturen von 70 bis 80°C getrocknet wurde.

Am feuchten und getrockneten Faserstoff erfolgte die Charakterisierung wesentlicher morphologischer Eigenschaften. Die Nassanalysen mittels Camsizer (nach IHD-Arbeitsanweisung AA-30-01) lieferten u.a. Aussagen zur mittleren Faserlänge und Faserbreite. Mit Faserlängen bis 1,5 mm sowie Faserbreiten von 0,11 mm wurden für feuchte und trockene Fasern nahezu übereinstimmende Kennwerte ermittelt, so dass eine Nachzerkleinerung durch den Trocknungsprozess (Fasern durchqueren Förderventilator) ausgeschlossen werden kann (Abbildung 8).



Abbildung 8: Faserstoff, Links aufbereitet nach Trocknung; Rechts im Anlieferungszustand, feucht (Mohr und Krug 2022).

Aus den aufbereiteten Faserstoffen wurden dann im IHD u. a. labortechnisch Faserplatten mittlerer Dichte (MDF) mit Rohdichten von 750 kg/m³ und Nenndicken von 16 mm hergestellt. Variiert wurde insbesondere der Anteil an Recyclingfaserstoff in den Stufen 0, 15, 30 und 100 %. Das Rohplattenformat lag bei 460 mm x 440 mm. Die Beileimung erfolgte grundsätzlich im Blender mit einem industrieüblichen UF-Harzsystem (10 % Anteil). Die Vliese wurden manuell gestreut. Im Anschluss folgten das Vorpressen bei Raumtemperatur und ein konventionelles Heißpressen bei 200°C mit einem Presszeitfaktor von 10 s/mm. Nach ausreichender Konditionierung wurden die Platten geschliffen und teilweise kurztaktbeschichtet. Abschließend erfolgte die Prüfung wesentlicher physikalischer und fallweise auch chemischer Platteneigenschaften.

Die Ergebnisse der physikalischen Eigenschaftsprüfungen der MDF ergaben für die Querkzugfestigkeit (Abbildung 9) und die Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung (Abbildung 10) jeweils den normativen Vorgaben an MDF (Querkzugfestigkeit min. 0,55 N/mm², Dickenquellung max. 12 %) entsprechende Werte.

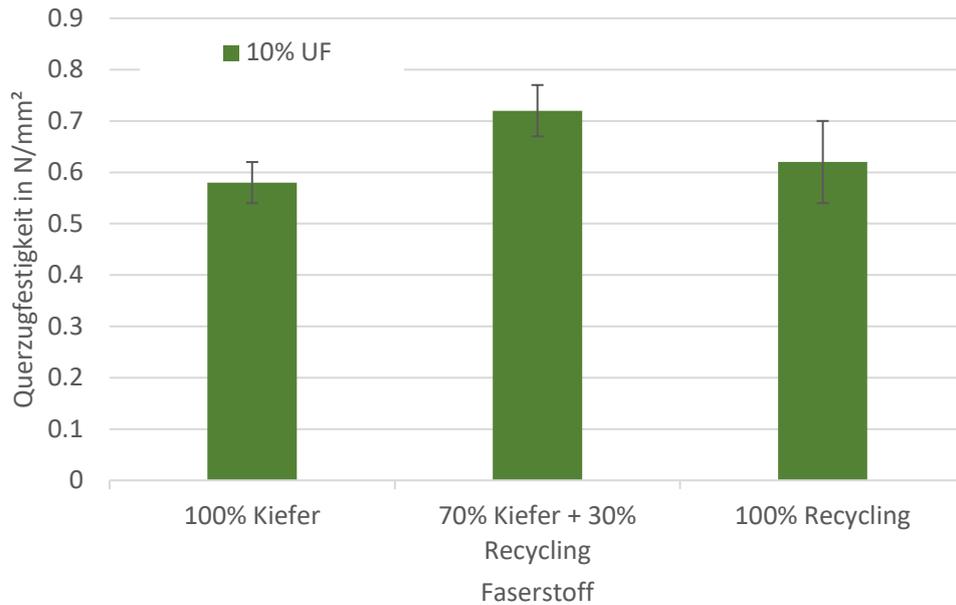


Abbildung 9: Querzugfestigkeit (nach EN 319) von MDF in Abhängigkeit von Recyclingfaser-Anteil (Mohr und Krug 2022).

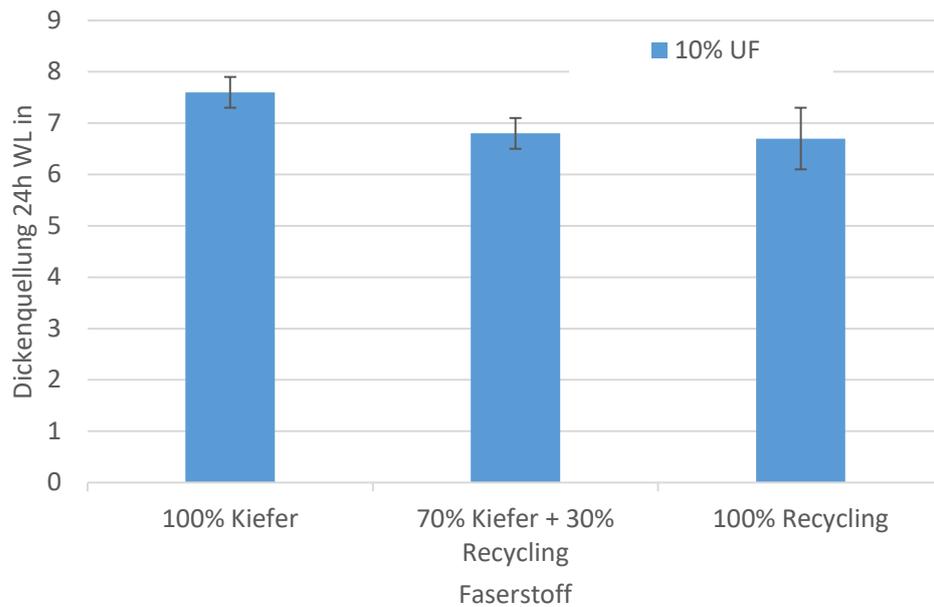


Abbildung 10: Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung (nach EN 317) von MDF in Abhängigkeit von Recyclingfaser-Anteil (Mohr und Krug 2022).

Die günstigsten Platteneigenschaften weisen dabei MDF mit einem Recyclingfaseranteil von 30 % auf.

4. Literaturverzeichnis

- [1] Babcock, Leon W. (1932): Method of producing fermentable sugars and alcohol from wood. Veröffentlichungsnr: US1855464.
- [2] Bartlett, C. (2012): MDF Recovery Limited. Recovery of High Value Wood Fibres From Waste MDF. In: Verein zur Förderung holzbiologischer & holztechnologischer Forschung e.V. (Hg.): Fachtagung Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Göttingen, 13. – 14.12.
- [3] Bäurich, C.; Handke, T.; Schumann, W.; Weber, P.-G. (2012): Elektronenbestrahlung von Holzhackschnitzeln zur energieeffizienten Herstellung von Holzstoff in der Papierproduktion. Hg. v. TU Dresden und Synergy Health Radeberg GmbH. Dresden, Radeberg.
- [4] Bundesministeriums der Justiz (24.02.2012, Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020 I 2232): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz). KrWG, zuletzt geprüft am 18.03.2022.
- [5] Erbreich, Markus (2004): Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altholz zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF). Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg. Biologie.
- [6] FEHR Umwelt Ost GmbH, Fiedler, Mario (2018): Holzfeuchte von Altholz. Dresden, 13.12.2018. Beratung an Marco Mäbert und Detlef Krug.
- [7] Galbe, Mats; Zacchi, Guido (2002): A review of the production of ethanol from softwood. In: Applied microbiology and biotechnology 59 (6), S. 618–628.
- [8] Kasal, Bohumil; Leschinsky, Moritz; Oehr, Christian; Unkelbach, Gerd; Wolperdinger, Markus (2019): Das Wertstoff-Prinzip. In: Reimund Neugebauer (Hg.): Biologische Transformation. Berlin, Heidelberg: Springer; Springer Berlin Heidelberg, S. 265–315.
- [9] Kharazipour, A.; Huettermann, A.; Luedemann, H. D. (1997): Enzymatic activation of wood fibres as a means for the production of wood composites. In: Journal of Adhesion Science and Technology 11 (3), S. 419–427.
- [10] Kirchner, R. (2002): Recycling von Holzwerkstoffen durch das Verfahren der thermohydrolytischen Spaltung. In: 2. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, S. 72–81.
- [11] Krug, Detlef; Mäbert, M.; Tobisch, S. (2011): Optimierung von Pressparametern und Holzwerkstoffeigenschaften durch die Anwendung der IVHF-Technologie. Abschlussbericht. Hg. v. IHD. Dresden.
- [12] Lesar, Boštjan; Humar, Miha; Hora, Guido; Hachmeister, Philipp; Schmiedl, Detlef; Pindel, Elvira et al. (2016): Utilization of recycled wood in biorefineries. Preliminary results of steam explosion and ethanol/water organosolv pulping without a catalyst. In: European Journal of Wood and Wood Products 74 (5), S. 711–723.
- [13] Mantau, Udo; Döring, Przemko; Weimar, Holger; Glasenapp, Sebastian (Hg.) (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland: Verbundvorhaben Rohstoffmonitoring Holz: gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, 38). Online verfügbar unter <https://edocs.tib.eu/files/e01fn18/1029673020.pdf>.
- [14] Mason, William H. (1926a): Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like. Veröffentlichungsnr: US1586159.
- [15] Mason, William H. (1926b): Process and apparatus for disintegration of wood and the like. Veröffentlichungsnr: US1578609.
- [16] Meinschmidt, Peter; Mauruschat, Dirk; Briesemeister, Robert (2016): Altholzsituation in Europa und Deutschland. In: Chemie Ingenieur Technik 88 (4), S. 475–482. DOI: 10.1002/cite.201500023.
- [17] Michanickl, Andreas; Boehme, Christian (1995): Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffreststücken, Altmöbeln, Produktionsrückständen, Abfällen und anderen holzwerkstoffhaltigen Materialien. Angemeldet durch Fraunhofer-Gesellschaft, München am 14.03.1995. Veröffentlichungsnr: DE19509152A1.

- [18] Michanickl, Andreas; Boehme, Christian (1996): Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffen. Spanplatten und MDF können gleiche oder sogar bessere Eigenschaften haben als Platten, die ausschließlich aus Frischspänen und -fasern hergestellt werden. In: HK, Holz Kunstst.verarb. (4), S. 50–55.
- [19] Mohr, Robert; Krug, Detlef (2022): Recycling von Fasern aus gebrauchten (post consumer) HDF/MDF. 14. Holzwerkstoffkolloquium. IHD Institut für Holztechnologie Dresden GmbH. Dresden, 07.04.2022.
- [20] Möller, Achim; Herrlich, Steffen (1994): Kreislauf geschlossen. Platten aus Altmöbeln. In: dds (12), S. 120–125.
- [21] Moreno, Antonio D.; Olsson, Lisbeth (2017): Pretreatment of lignocellulosic feedstocks. In: Rajesh K. Sani und R. Navanietha Krishnaraj (Hg.): Extremophilic Enzymatic Pro-cessing of Lignocellulosic Feedstocks to Bioenergy. Cham: Springer; Springer International Publishing, S. 31–52.
- [22] N.N. (1992): Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen. Angemeldet durch Pfeleiderer Unternehmensverwaltung GmbH & Co KG am 25.07.1992. Veröffentlichungsnr: DE4224629A1.
- [23] N.N. (2018): MDF Recovery: Erste Anlage zum Recycling von MDF bis 2020. In: Euwid 92 (36), S. 26.
- [24] N.N. (2021): MDF Recovery targets 2022 for first operational plant using waste MDF. In: Wood Based Panels International (4/5), S. 8.
- [25] New, A. J. (2009): RECYCLING TECHNOLOGY. Angemeldet durch MDRF Natural Fibres Limited am 22.12.2009. Veröffentlichungsnr: EP 2 516 730 B1.
- [26] Roffael, E.; Behn, C.; Schneider, T.; Krug, Detlef (2016): Bonding of recycled fibres with urea-formaldehyde resins. In: International Wood Products Journal 7 (1), S. 36–45. DOI: 10.1080/20426445.2015.1131918.
- [27] Roffael, Edmone (1995): Verfahren zum Recyceln von Span- und Faserplatten. Angemeldet durch Roffael, Edmone am 21.07.1995. Veröffentlichungsnr: DE19526667A.
- [28] Roll, H. (2010): Optimierung des Faseraufschlusses im Refiner – Teil 1. Energierrelevante Aspekte der Refinerscheibentechnologie bei der MDF-Herstellung unter Berücksichtigung der Faserqualität. In: Holzzentralblatt (16), S. 423–424.
- [29] Schlipphak, G. (1965): Das Sandberg-Verfahren zur Rückgewinnung von Spänen aus Spanplattenabfällen. In: Holz als Roh- und Werkstoff (4), S. 154–155.
- [30] Schutyser, W.; Renders, T.; van den Bosch, S.; Koelewijn, S-F; Beckham, G. T.; Sels, Bert F. (2018): Chemicals from lignin. An interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading. In: Chemical Society Reviews 47, S. 852–908.
- [31] Steckel, Vera (2021): Holzmärkte – wohin geht künftig die Reise. In: Holz-Zentralblatt (42), S. 754–755.
- [32] Steckel, Vera (2022): Unilin Panels will 25 % Recyclingfasern einsetzen. Dampfexplosionsverfahren des belgischen Holzwerkstoffherstellers macht Recycling von MDF und HDF möglich. In: Holz-Zentralblatt 148 (44), S. 762.
- [33] Stenberg, Kerstin; Tengborg, Charlotte; Galbe, Mats; Zacchi, Guido (1998): Optimisation of steam pretreatment of SO₂-impregnated mixed softwoods for ethanol production. In: J. Chem. Technol. Biotechnol. 71 (4), S. 299–308.
- [34] Strohmeyer, Anemon (2018): Der Schein trügt. Blick auf die Zahlen der Holzwerkstoffindustrie greift zu kurz. In: Holz-Zentralblatt 144 (51/52), S. 1175.
- [35] Swatloski, Richard P.; Spear, Scott K.; Holbrey, John D.; Rogers, Robin D. (2002): Dissolution of cellulose with ionic liquids. In: Journal of the American Chemical Socie-ty 124 (18), S. 4974–4975.
- [36] Tengborg, Charlotte; Stenberg, Kerstin; Galbe, Mats; Zacchi, Guido; Larsson, Simona; Palmqvist, Eva; Hahn-Hägerdal, Bärbel (1998): Comparison of SO₂ and H₂SO₄ impregnation of softwood prior to steam pretreatment on ethanol production. In: ABAB 70 (1), S. 3.

- [37] Wang, Kun; Chen, Jinghuan; Sun, Shao-Ni; Sun, Run-Cang (2015): Steam Explosion. In: Ashok Pandey, Sangeeta Negi, Parmeswaran Binod und Christian Larroche (Hg.): Pretreatment of Biomass // Pretreatment of biomass. Processes and technologies. Amsterdam: Elsevier, S. 75–104.
- [38] Weinkötz, S. (2017): Holzklebstoffe und -bindemittel – Trends und Herausforderungen aus Sicht der Grundlagen- und Industrieforschung. In: Bayern Innovativ (Hg.): Kleben von Holz und Holzwerkstoffen. Kleben von Holz und. Würzburg, 21.-22.06.2017. Bayern Innovativ. 3. Aufl. Würzburg: Selbstverlag.
- [39] Wertz, Jean-Luc; Deleu, Magali; Coppée, Séverine; Richel, Aurore (2017): Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries: CRC Press.

Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette

Dr. Martina Bender
EGGER Holzwerkstoffe
St. Johann, Österreich



Der Carbon Footprint entlang der Lieferkette

Der CO₂-Fußabdruck (eng. *Carbon Footprint*) steht für den Gesamtbetrag an Treibhausgasemissionen, der direkt oder indirekt von Produkten, Unternehmen, Aktivitäten oder Personen verursacht wird. Einbezogen sind dabei nicht nur die CO₂-Emissionen, sondern auch andere Gase, die vom *International Panel on Climate Change (IPCC)* als Treibhausgase identifiziert werden. Das Treibhauspotential dieser Gase wird in CO₂-Äquivalente umgerechnet und als Summenwert zusammengefasst [1].

1. Der Carbon Footprint von Bauprodukten

Für Bauprodukte gibt es mit den sogenannten EPDs ein etabliertes Ökobilanzformat, das vergleichbare und transparente Daten zur Umweltleistung von Produktsystemen liefert. Die Verwendung dieser Daten zur Berechnung von Gebäude-Ökobilanzen ist seit Jahren gelebte Praxis. Die Abkürzung *EPD* steht für «Umwelt-Produktdeklaration» (engl. *Environmental Product Declaration*), genormt sind diese für die Produktkategorie Bauprodukte durch die *EN 15804* [2].

Je nach Bewertungsmethode gehen die meisten Ökobilanzen über die reine Betrachtung des Treibhauseffektes hinaus – es werden auch Umwelteffekte wie Versauerung, Überdüngung oder Ressourcenverknappung bilanziert. Für Bauprodukt-EPDs ist durch die *EN 15804* geregelt, welche dieser Wirkungskategorien mindestens dargestellt sein müssen.

Den «Carbon Footprint» finden wir in den umfangreichen EPD-Ergebnistabellen durch die Wirkungskategorie «Treibhauspotential» (engl. *global warming potential GWP*) repräsentiert. Bei näherer Betrachtung stellen wir jedoch fest, dass dieses Treibhauspotential eine weitere Untergliederung erfährt: Es gibt das *GWP-fossil*, *GWP-biogen* sowie das *GWP-luluc*, zusätzlich wird die Summe dieser drei Kategorien als *GWP-gesamt* ausgewiesen. Doch welche dieser Werte ist nun **der** «Carbon Footprint»? Anhand eines bewusst einfach gewählten Beispiels sollen die Subkategorien des Carbon Footprints kurz vorgestellt und erläutert werden. Abbildung 1 zeigt zu diesem Zweck einen Ausschnitt der Ergebnistabelle der Ökobilanz für einen Kubikmeter technisch getrocknetes und gehobeltes Schnittholz.

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; ND = MODUL ODER INDIKATOR NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)																	
Produktionsstadium		Stadium der Errichtung des Bauwerks			Nutzungsstadium								Entsorgungsstadium			Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotential	D
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	ND	ND	ND	ND	MNR	MNR	MNR	ND	ND	X	X	X	X	X	X
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m ³ Schnittholz technisch getrocknet und gehobelt (503 kg/m ³)																	
Kernindikator		Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D									
Globales Erwärmungspotenzial - total		[kg CO ₂ -Äq.]	-6,96E+2	0,00E+0	1,48E+0	8,06E+2	0,00E+0	-4,05E+2									
Globales Erwärmungspotenzial - fossil		[kg CO ₂ -Äq.]	1,01E+2	0,00E+0	1,47E+0	3,95E+0	0,00E+0	-4,04E+2									
Globales Erwärmungspotenzial - biogen		[kg CO ₂ -Äq.]	-7,98E+2	0,00E+0	-2,45E-3	8,02E+2	0,00E+0	-1,01E+0									
Globales Erwärmungspotenzial - luluc		[kg CO ₂ -Äq.]	3,53E-1	0,00E+0	1,18E-2	5,72E-3	0,00E+0	-3,29E-1									

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Ergebnistabelle der Umwelt-Produktdeklaration EGGER Schnittholz technisch getrocknet [3].

Die Ergebnisse sind nach Lebenszyklusphasen gegliedert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Produktionsstadium A1-A3 – dieser Abschnitt wird auch als «cradle to gate» bezeichnet.

1.1. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-fossil*

In dieser Subkategorie sind alle Emissionen zusammengefasst, die fossilen Kohlenstoffquellen entstammen. Freigesetzt werden diese überwiegend durch Verbrennungsprozesse. Beim Beispiel des Schnittholzes treten fossile Emissionen im geringen Maße bei der Waldbewirtschaftung auf, etwa durch dieselbetriebene Erntemaschinen. Beim Transport des Stammholzes wird wiederum Diesel verbrannt. Im Sägewerk wird elektrische Energie benötigt, die bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern verursachten Emissionen finden im *GWP-fossil* ebenfalls Berücksichtigung. Im vorliegenden Beispiel werden im Zuge der Herstellung eines Kubikmeters getrockneten und gehobelten Schnittholzes insgesamt 101 kg CO₂-Äquivalente fossilen Ursprungs emittiert.

1.2. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-biogen*

Diese Subkategorie weist Treibhausgasemissionen aus, die biogenen Ursprungs sind. Da das Baumwachstum auch in die Produktionsphase hineinzählt, wird das aus der Atmosphäre aufgenommene CO₂ mit einem negativen Vorzeichen dargestellt. Schließlich handelt es sich nicht um eine Emission, sondern um eine klimaentlastende Reduktion von atmosphärischem CO₂. Tatsächliche biogene Emissionen, die beispielsweise biologischen Abbauprozessen entstammen, werden – sofern vorhanden – mit diesem Wert verrechnet. Insgesamt sind beim Schnittholz die biogenen Emissionen mit einem Wert von -798 kg CO₂-Äquivalente im deutlich negativen Bereich.

1.3. Die Subkategorie des Treibhauspotentials *GWP-luluc*

Im Fokus dieser Subkategorie stehen Änderungen im Kohlenstoffbestand von **Böden**. Hinter der Abkürzung *GWP-luluc* verbergen sich Emissionen, die durch Veränderungen des Kohlenstoffbestandes durch Landnutzung und Landnutzungsänderungen entstehen. Dies sind beispielsweise Humusauf- und -abbauprozesse durch die Bewirtschaftungsweise von Flächen oder deren Umnutzungen. Gemäß der *EN 15804* kann die Angaben dieser Kategorie entfallen, wenn der Beitrag des *GWP-luluc* weniger als 5 % von *GWP-gesamt* über die deklarierten Module mit Ausnahme von Modul D ausmacht.

Am Beispiel des Schnittholzes aus nachhaltiger Forstwirtschaft fällt das *GWP-luluc* mit 0,353 kg CO₂-Äquivalente erwartungsgemäß gering aus. Einbezogen ist hier auch der Flächenverbrauch des Sägewerkes und der Holzlagerflächen am Produktionsstandort.

1.4. Der Summenwert *GWP-gesamt*

Alle Emissionen der oben vorgestellten Subkategorien ergeben in Summe das *GWP-gesamt*. Ein Kubikmeter Schnittholz hat nach den Ökobilanzergebnissen in Abbildung 1 demnach ein globales Erderwärmungspotential von -696 kg CO₂-Äquivalenten. Das negative Vorzeichen bedeutet, dass insgesamt mehr Kohlendioxid während des Wachstums aufgenommen wird, als an anderer Stelle während Ernte, Transport und Verarbeitung freigesetzt wird.

1.5. Der Carbon Footprint (CFP) nach *ISO 14067*

Die internationale Norm *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten definiert allgemein die Grundsätze, Anforderungen an und Leitlinien für die Quantifizierung des Carbon Footprint (CFP) von Produkten, nicht nur für Bauprodukte [4]. Der Carbon Footprint entspricht dem in Abschnitt 1.4 beschriebenen *GWP-gesamt*, die Norm fordert ebenfalls zwingend die zusätzliche und separate Ausweisung der emittierten fossilen, biogenen und landnutzungsbedingten Treibhausgase. Diese Unterscheidung entspricht den in Abschnitt 1.1-3 beschriebenen Subkategorien.

1.6. Wann ist ein Produkt «klimaneutral»?

In den vergangenen Jahren begegneten uns als «klimaneutral» beworbene Produkte und Dienstleistungen immer häufiger. Jedoch sind auch Klagen seitens Verbraucherschützern oder Wettbewerbszentralen wegen irreführender oder intransparenter Werbeaussagen einer breiteren Öffentlichkeit bekannt geworden, besonders hat dies den Bereich der Lebensmittel- und Textilindustrie sowie dem Einzelhandel betroffen [5].

Eine verbindliche Regulierung seitens des Gesetzgebers gibt es in Deutschland derzeit nicht.

Obwohl es mittlerweile den internationalen Standard *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten gibt, begegnen uns noch immer unterschiedliche Interpretationen und Bewertungen dieses Begriffes. Das heißt, wir können zwar

- Mithilfe der Ökobilanzierung den Ausstoß fossiler Emissionen im Laufe der Produkterzeugung hinreichend objektiv beziffern sowie
- gemäß der *ISO 14067*-Kriterien den Carbon Footprint eines Produkts (CFP) ausweisen, anhand dessen die Umweltleistung dieses Produktes mit anderen verglichen werden kann.

Wie genau diese Ergebnisse nun kommuniziert werden können oder dürfen ist nicht Gegenstand der *ISO 14067*.

Kommen wir zurück zu unserem einfachen Beispiel, dem Schnittholz. Ist das Schnittholz aus Abbildung 1 klimaneutral? Je nach Standpunkt kann die Antwort hier lauten:

1. **Ja**, sogar mehr als das! Mit einem Carbon Footprint von -696 kg CO₂-Äquivalenten ist es sogar *klimapositiv*!
2. **Nein**, denn es werden im gesamten Herstellungsprozess 101 kg CO₂-Äquivalente an fossilen Emissionen freigesetzt. **Aber** durch die Finanzierung von Klimaprojekten in Drittländern werden diese Emissionen **kompensiert**. Das Produkt kann anschließend von einem **privatem Label-Unternehmen** als «klimaneutral» deklariert werden.
3. **Nein**, denn es werden im gesamten Herstellungsprozess 101 kg CO₂-Äquivalente an fossilen Emissionen freigesetzt. Das Unternehmen verpflichtet sich daher, diese Emissionen im Rahmen seiner **Unternehmens-Klimaziele** durch ambitionierte Maßnahmen langfristig auf null zu senken. Am Ende der «Route to **NetZero**» des Unternehmens werden auch seine Produkte klimaneutral sein.

Antwort 1 ist nach der *ISO 14067* zum Carbon Footprint von Produkten in dieser Form **nicht zulässig**, da der im Produkt gespeicherte biogene Kohlenstoff separat ausgewiesen werden muss und nicht mit dem Carbon Footprint verrechnet werden darf.

Antwort 2 schneidet das Thema der umstrittenen **Klima-Kompensationen** mittels sogenannter «Klimaprojekte» an. In der Normensprache handelt es sich bei diesen Kompensationsprojekten um «CO₂-Verrechnungen» außerhalb der Systemgrenzen. Hinsichtlich deren Kommunikation hält sich die *ISO 14067* explizit zurück. Die Kommunikation von Footprint-Angaben und entsprechende Aussagen zur CO₂-Verrechnung und Klimaneutralität werden in *ISO 14026* [6] und *ISO 14021* [7] behandelt. Hierin wird gefordert, dass missverständliche oder täuschende Formulierungen zu unterlassen sind – eine vage Forderung, die mitunter von Gerichten entschieden werden muss [5]. Es handelt sich bei Kompensationen um keine echte Reduktion fossiler Emissionen – die im Projekt an anderer Stelle eingesparten Emissionen stößt das kompensierende Unternehmen dann selbst aus. Aufgrund des Klagedruckes seitens der Verbraucherschützer werden Produkte, die über das Mittel der Kompensation als «klimaneutral» gelabelt werden, inzwischen meist eindeutig als solche gekennzeichnet.

Mit der **Antwortvariante 3** schließlich wird die reine Produktebene verlassen und die Klimaleistung des Produktes in den Zusammenhang mit **Klimazielen auf Unternehmensebene** gestellt. Auch für die Klimaneutralität auf Unternehmensebene ist mit der *ISO 14068* ebenfalls eine internationale Norm in Arbeit, noch befindet sie sich allerdings im Entwurfstadium [8]. Dieser Aspekt schlägt die Brücke zum folgenden Kapitel, in welchem der Carbon Footprint auf Unternehmensebene betrachtet wird.

2. Der Carbon Footprint von Unternehmen: Durch Dekarbonisierung ins postfossile Zeitalter

Vor dem Hintergrund des EU Greendeals [9] und der damit verbundenen Zielstellung, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu wirtschaften, befassen sich immer mehr Unternehmen mit ihrem Treibhausgasausstoß und entwickeln qualifizierte Klimaziele. Durch eine **Dekarbonisierung** der Wirtschaft soll auf die Verbrennung fossiler Energieträger zukünftig verzichtet werden, um so den menschengemachten globalen Temperaturanstieg zu begrenzen. Im Fokus der Anstrengungen stehen somit bei den meisten Unternehmen die **fossilen**

Emissionen. Im Gegensatz zu den Carbon Footprints von Produkten werden die Emissionen von Unternehmens-Footprints verschiedenen Klassen zugeordnet, den sogenannten Scopes. International genormt sind die Unternehmens-Footprints durch das Greenhouse Gas Protocol [10]. Im Folgenden sollen diese Emissionsklassen kurz vorgestellt werden.

2.1. Scope 1: Direkte Emissionen

In dieser Emissionsklasse sind alle Treibhausgas-Emissionen zusammengefasst, die innerhalb des Werkszaunes auftreten. Typische Emissionsquellen dieser Klasse sind Verbrennungsprozesse zur Wärmegewinnung oder Antriebe von Fahrzeugen, die am Produktionsstandort eingesetzt werden. Diese Emissionen sind von den Unternehmen direkt beeinflussbar.

2.2. Scope 2: Indirekte Emissionen aus eingekaufter Energie

Scope 2 Emissionen entstehen beim Energieerzeuger des betrachteten Unternehmens, es handelt sich quasi um die Scope 1 Emissionen des Energieerzeugers. Durch ihren Energieverbrauch und die Wahl des Energieversorgers haben Unternehmen auch auf Emissionen dieser Kategorie einen direkten Einfluss.

2.3. Scope 3: Indirekte Emissionen innerhalb der Wertschöpfungskette

Im Scope 3 werden alle weiteren indirekten Emissionen zusammengefasst, die durch die Unternehmenstätigkeit verursacht werden. Abbildung 2 zeigt am Beispiel des Holzwerkstoffherstellers EGGER die verschiedenartigen Elemente dieser umfangreichsten Emissionsklasse. Der Energieverbrauch ist erneut aufgeführt, im Gegensatz zu den Scope 2 Emissionen sind hier jedoch die Emissionen aus der Brennstoffvorkette gemeint.

Von allen Kategorien ist Scope 3 am schwersten zu erheben und auch am schwersten für Unternehmen zu beeinflussen. Aber das Befassen mit diesen indirekten Emissionen lohnt sich: Gerade im produzierenden und verarbeitenden Gewerbe ist diese Klasse für einen Löwenanteil an den Gesamtemissionen verantwortlich. Der Großteil der Scope 3 Emissionen der EGGER Gruppe wird durch den Zukauf nicht-holzbasierter Rohstoffe verantwortet. Insbesondere Chemikalien und Kunststoffe haben oftmals einen – im Verhältnis zu ihrer eingekauften Menge – verblüffend großen Carbon Footprint. **An dieser Stelle schließt sich der Kreis zu den in Kapitel 1 beschriebenen Produkt – Carbon Footprints, da sie als Umweltlast über die Lieferkette sprichwörtlich mitgekauft werden.**

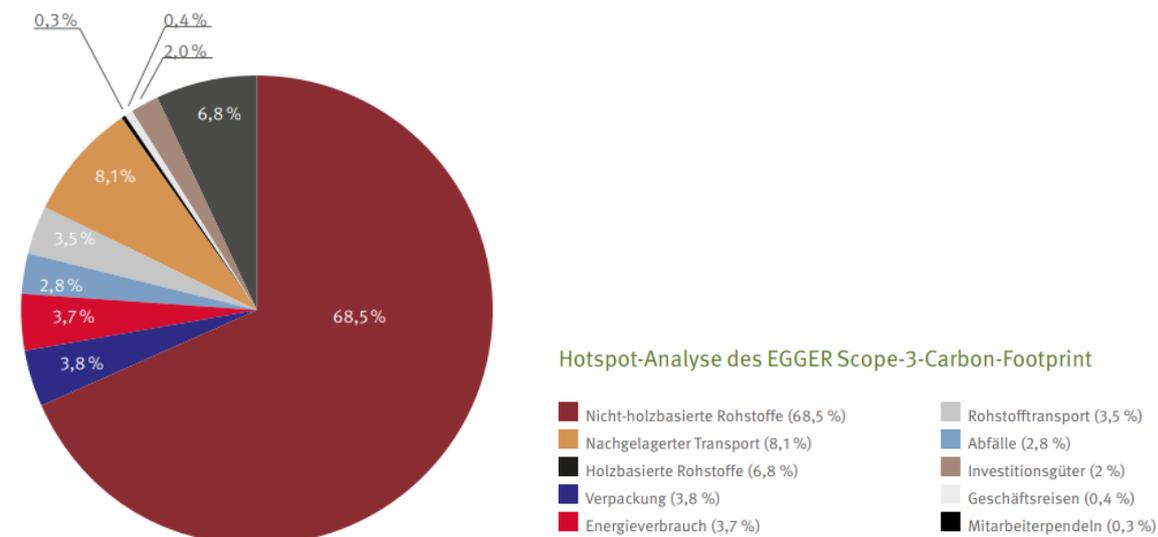


Abbildung 2: Verteilung der Scope 3 Emissionen der EGGER Gruppe. EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [11].

2.4. Mit *net-zero* Klimazielen zur Klimaneutralität

Kennt ein Unternehmen seine Emissionen, kann es sich Klimazielen verpflichten. Diese können frei gewählt sein oder einem Standard folgen. Ein international weit verbreiteter Standard ist die Science Based Targets Initiative (SBTi) zur Setzung wissenschaftlich fundierter Klimaziele [12]. Unternehmen, die dieser Initiative beitreten, werden geprüft, ob ihre gewählten Klimaziele geeignet sind, die Ziele des Pariser Abkommens einzuhalten – also die Erderwärmung auf 1,5°C zu begrenzen. Langfristig sollen die Unternehmen bis zum Jahr 2050 klimaneutral (engl. *net-zero*) werden. Diese Neutralität muss durch Emissionsvermeidung erreicht werden. Nicht vermeidbare Restemissionen können nur durch echte Reduktion von CO₂ aus der Atmosphäre ausgeglichen werden. Kompensationen wie in Absatz 1.6 beschrieben sind hierfür nicht zulässig.

Die für die Erreichung der SBTs erforderlichen Reduktionsraten sind sehr hoch und müssen die Emissionen aller Scopes umfassen. Als drängendstes Problem der Gegenwart gelten die **fossilen Emissionen**. Oft wird daher nicht oder nur implizit erwähnt, dass sich die **verabschiedeten Ziele** auf die **fossilen Emissionen** eines Unternehmens beziehen. Für Unternehmen, die die im Rahmen ambitionierter Klimaziele die Scope 3 Emissionen in ihrer Lieferkette reduzieren wollen, ist es daher relevant, gezielt Produkte mit einem niedrigem *GWP-fossil* (siehe Abschnitt 1.1) einzukaufen.

2.5. Der Einfluss der Lieferketten-Emissionen am Beispiel der beschichteten Spanplatte

Dieser Abschnitt befasst sich mit denjenigen Scope 3 Emissionen, die dem **Rohstoffankauf** entstammen und somit dem **Produkt Carbon Footprint** der eingekauften Güter widerspiegeln.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, besteht eine beschichtete Spanplatte zu einem Großteil von 84% aus Holz – Sägenebenprodukte, Post-Consumer-Recyclingholz und Frischholz. 15% der Produktzusammensetzung fallen auf Bindemittel, Tränkharze und Additive. Für die Beschichtung ist 1% Papier notwendig.

Diese Verteilung repräsentiert auch in etwa die eingekauften Rohstoffmengen der gesamten EGGER Gruppe. Vergleicht man diese Mengenverhältnisse mit der Scope 3 Analyse in Abbildung 2 fällt auf, dass die holzbasierten Rohstoffe nur für 6,8% der der im Geschäftsjahr 2021/2022 berichtete Scope 3 Emissionen verantwortlich sind. Die nicht-holzbasierten Rohstoffe hingegen verantworten 68,5% der Scope 3 Emissionen, obwohl ihr Mengenanteil gegenüber den holzbasierten Rohstoffen nicht einmal ein Fünftel beträgt [11]. Um die Scope 3 Emissionen der Holzlieferkette zu senken, müssten beispielsweise emissionsfreie Fahrzeuge in der Waldpflege und Holzernte eingesetzt werden. Der Hebel zur Emissions-senkung ist jedoch bei den nicht-holzbasierten Rohstoffen im Verhältnis zur Einkaufsmenge ungleich größer.

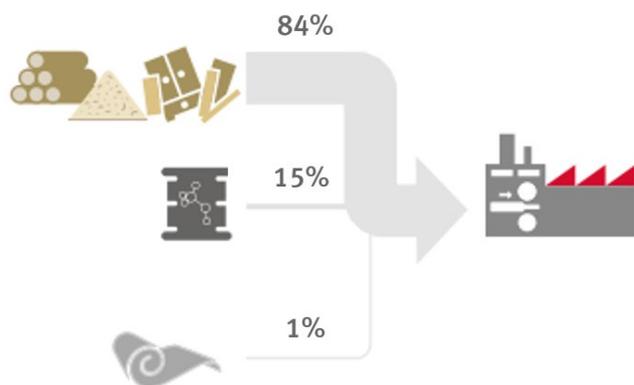


Abbildung 3: Zusammensetzung einer beschichteten Spanplatte aus den Komponenten Holz, Chemie und Papier. Angepasste Darstellung aus dem EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [11].

Ursächlich hierfür sind die energieaufwändigen Fertigungsprozesse erdöl- oder erdgasbasierter Produkte in der chemischen und Kunststoff-Industrie, ein Großteil der vorgelagerten Emissionen entsteht an dieser Stelle (siehe linke Spalte Abbildung 4). Um die Scope 3 Emissionen zu senken, müssen hier neue, emissionsarme Lösungen gefunden werden.

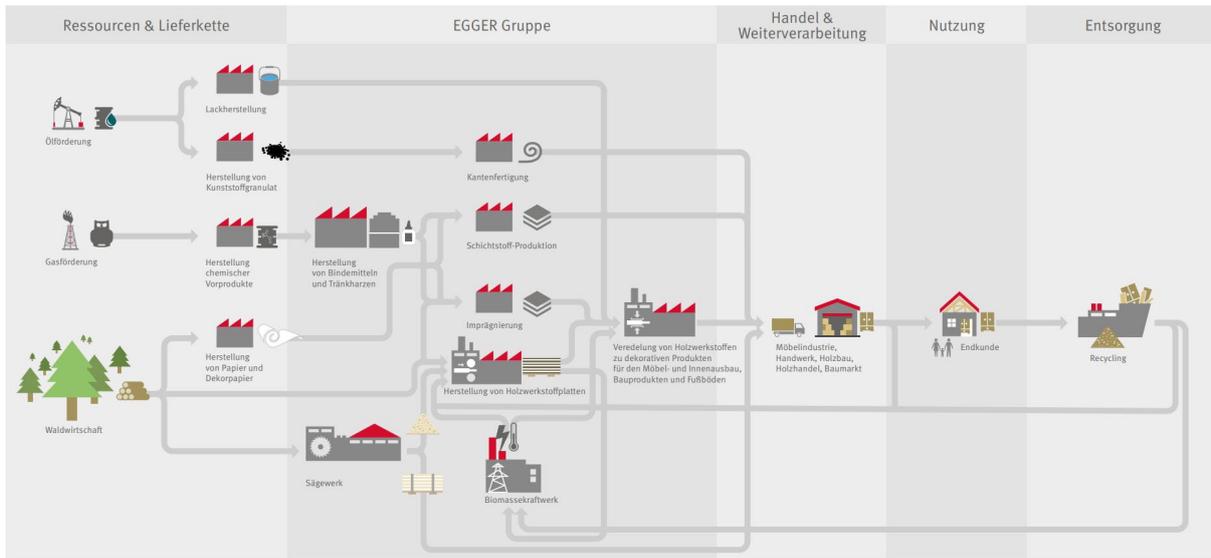


Abbildung 4: Darstellung der gesamten Wertschöpfungskette von Holzwerkstoffen. EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022 [11].

Am Ende des Fertigungsprozesses im Holzwerkstoffwerk entsteht mit der beschichteten Spanplatte ein Produkt, welches nun seinerseits in den Scope 3 Footprint von Kunden in Handel und Weiterverarbeitung, aber auch von Endkunden einfließt.

Abbildung 5 zeigt die EPD-Ökobilanzergebnisse einer beschichteten Spanplatte. Im *GWP-gesamt* ist dieses Produkt mit -13,8 kg CO₂-Äquivalenten pro m² bereits negativ. Dies ist durch den hohen Holzanteil im Produkt begründet. Kunden, die dieses Produkt kaufen, dürfen diesen negativen Wert im *GWP-gesamt* allerdings nicht mit ihren fossilen Emissionen verrechnen. Kunden, die ihre fossilen Scope 3 Emissionen berechnen, müssen entsprechend das Ergebnis für das *GWP-fossil* in ihre Scope 3 Bilanz integrieren. Im untenstehenden Beispiel wären das 3,93 kg CO₂-Äquivalente pro m².

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m² Eurodekor beschichtete Spanplatte (11,57 kg/m²)

Kemindikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
Globales Erwärmungspotenzial - total	[kg CO ₂ -Äq.]	-1,38E+1	0,00E+0	3,68E-2	1,79E+1	0,00E+0	-8,83E+0
Globales Erwärmungspotenzial - fossil	[kg CO ₂ -Äq.]	3,93E+0	0,00E+0	3,66E-2	9,85E-2	0,00E+0	-8,80E+0
Globales Erwärmungspotenzial - biogen	[kg CO ₂ -Äq.]	-1,77E+1	0,00E+0	-6,11E-5	1,78E+1	0,00E+0	-2,51E-2
Globales Erwärmungspotenzial - luluc	[kg CO ₂ -Äq.]	5,66E-3	0,00E+0	2,95E-4	1,43E-4	0,00E+0	-8,13E-3

Abbildung 5: Ausschnitt aus der Ergebnistabelle der Umwelt-Produktdeklaration EGGER Eurodekor beschichtete Spanplatte [13].

Hintergrund ist hier, dass in Biomasse zwar Kohlenstoff gebunden ist, dieser im Vergleich zum Entstehungszeitraum fossiler Kohlenstoffquellen jedoch nicht annähernd lang gebunden bleibt, um deren massive Freisetzung in die Atmosphäre dauerhaft ausgleichen zu können.

Die Ergebnisse von Produktökobilanzen sind nach Lebenszyklusphasen untergliedert. Die Ergebnisse der Lebenszyklusphasen A1-A3 («von der Wiege bis zum Werkstor») sind dabei oft zu einem Summenwert zusammengefasst. Eine Unterscheidung innerhalb dieser Ergebnisse in direkte und indirekte Emissionen entsprechend der *ISO 14067* oder in die Scopes 1-3 nach dem *GHG Protocol* ist anhand dieser Daten nicht möglich [4, 10]. Anhand der Ergebnisdarstellung in Abbildung 5 könnten wir also nicht sagen, wo genau diese Emissionen angefallen sind – im Fertigungsprozess des Holzwerkstoffherstellers oder bereits davor.

2.6. Herausforderung Datenqualität spezifischer Emissionsdaten

Für die Bestimmung ihrer warenbezogenen Scope 3 Emissionen greifen Unternehmen oder deren beauftragte Dienstleister häufig auf Datenbankwerte zurück. Für konventionelle Produkte, deren Produktionsweise sich in den vergangenen Jahren kaum geändert hat, war dies in der Vergangenheit auch kein Problem. Mit den verstärkten gemeinsamen Bestrebungen in Richtung Dekarbonisierung bringt die Suche nach neuen Lösungen vermehrt auch neuartige Produkte auf den Markt. Insbesondere biobasierte Materialien, die fossile Rohstoffe ersetzen sollen, werben häufig mit einem *GWP-gesamt* von Null oder sogar darunter. Wie im vorangehenden Abschnitt erläutert ist es dennoch wichtig, die entstehenden fossilen Emissionen dieser Produkte im Auge zu behalten. Nicht selten ergibt sich ein niedriges oder negatives *GWP-gesamt* aus der Verrechnung von im Produkt gespeichertem Biomasse-Kohlenstoff, die Emissionen aus fossilen Rohstoffen und Landnutzung dagegen fallen genauso hoch oder sogar höher aus als bei einem konventionellen Produkt auf fossiler Basis.

Um diese Betrachtungen überhaupt anstellen zu können, müssen diese Daten erst einmal verfügbar sein. Ohne eine solide Datenbasis können individuelle Unternehmenslösungen in der nachgelagerten Lieferkette nicht entlastend auf die Klimabilanz wirken, denn im Zweifel wird dann auf generische Datenbankwerte zurückgegriffen und damit auf konventionelle Produkte und deren Bilanzwerte.

3. Fazit

Welcher Wert ist also **der** «Carbon Footprint»? Die vorangegangenen Erläuterungen zeigen es auf: Unternehmen, die ihre fossilen Scope 3 Emissionen berechnen wollen oder für diese Emissionen bereits Klimazielen gesetzt haben, genügt bei der Einbindung von Carbon Footprints aus Materialien und Rohstoffen ihrer Upstream-Lieferkette **nicht** der Summenwert *GWP-gesamt*. Besonders bei Produkten mit biogenen Bestandteilen ist es essentiell, dass biogene und fossile Emissionen gemäß *ISO 14067* separat ausgewiesen werden.

Das Thema der Produkt Carbon Footprints ist komplex. Die Kommunikation einzelner Teilaspekte gegenüber Verbrauchern sollte nicht missverständlich erfolgen, insbesondere da das Vertrauen von Verbrauchern gegenüber Klimaneutralitätsversprechen bereits reichlich beschädigt ist.

Abschließend soll an dieser Stelle betont werden: Die Aussage eines *GWP-gesamt* ist dennoch nicht völlig bedeutungslos. Die Nutzung von Holz und Biomasse in langlebigen Produkten bindet CO₂ und hält es aus der Atmosphäre zurück. Der Nutzen auch nur vorübergehender Kohlenstoffspeicherung wird im *GWP-gesamt* anerkannt. Zwar sind die Kontroversen hinsichtlich der Berücksichtigung von Produktlebensdauern im Carbon Footprint noch lange nicht normativ beigelegt. Der Produktkohlenstoffspeicher bildet dennoch eine wichtige Brücke in die postfossile Zukunft.

4. Literaturverzeichnis

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [2] EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021
- [3] Umwelt-Produktdeklaration EGGER Schnittholz technisch getrocknet; Hrsg. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU); Ausstellungsdatum 10.05.2021
- [4] ISO 14067: Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification; Ausgabedatum 2019-02
- [5] Wettbewerbszentrale beanstandet verschiedene Werbungen im Zusammenhang mit der Aussage «klimaneutral» als irreführend und intransparent. <https://www.wettbewerbszentrale.de/de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/?id=381>. Pressemitteilung vom 19.5.2021. Abruf am 5.1.2023

- [6] ISO 14026 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Grundsätze, Anforderungen und Richtlinien für die Kommunikation von Fußabdruckinformationen (ISO 14026:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14026:2018
- [7] ISO 14021 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltbezogene Anbieter-erklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II) (ISO 14021:2016 + Amd 1:2021); Deutsche Fassung EN ISO 14021:2016 + A1:2021
- [8] ISO 14068:2022(E) Greenhouse gas management and climate change management and related activities – Carbon neutrality (draft)
- [9] Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 («Europäisches Klimagesetz»)
- [10] Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition 2004
- [11] EGGER Nachhaltigkeitsbericht 2021/2022. <https://www.egger.com/de/ueber-uns/umwelt/nachhaltigkeitsberichte>. Abruf am 5.1.2023
- [12] SBTi Corporate net-zero standard version 1.0, Oktober 2021
- [13] Umwelt-Produktdeklaration EGGER Eurodekor beschichtete Spanplatte; Hrsg. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU); Ausstellungsdatum 10.05.2021

Block A2

Möbel: Biobasierte Möbel und Werkstoffteile

Affordable sustainability: A furniture retailer reducing the carbon dioxide footprint of wooden furniture

Jan-Olof Fechter
IKEA of Sweden AB
Älmhult, Sweden



Affordable sustainability: A furniture retailer reducing the carbon dioxide footprint of wooden furniture

1. Introduction

The outcome of the UN climate conference COP26 in Glasgow showed that the world is heading towards a global temperature increase of 2.7°C.¹ Based on the latest IPCC report (AR6), the world will inevitably reach an increase of at least 1.5°C during the 2030s. As a global brand, the IKEA business is part of both the problem and the solution. Within our climate positive commitment, we have set ambitious goals to drastically reduce greenhouse gas (GHG) emissions across the IKEA value chain. The largest portion of the IKEA climate footprint comes from the materials used in the IKEA range (52%) and from the use of IKEA products in customers' homes (17%), which includes the energy consumption of lighting and appliances over the lifetime of a product.

During FY21, it's encouraging to see that we have managed to reduce the IKEA climate footprint by 1.6 million tonnes of CO₂ eq in absolute terms compared to the baseline FY16 – a reduction of 5.8% while IKEA sales surpassed previous highs. This means that we're on track towards our 2030 goal of a reduction of at least 15% compared to the baseline FY16.

We have reached one-third of the goal with two thirds of the time remaining. This is the result of a lot of hard work by co-workers across the IKEA business committed to address every part of the IKEA footprint. Together, we have realized many short- and medium-term movements like significantly improving the energy efficiency of our already energy efficient LED bulbs and developing and increasing the sales of our plant-based food options, such as the plant ball and veggie hot dog.

All in all, these support our commitment to make sustainable solutions available to many more people with thin wallets.

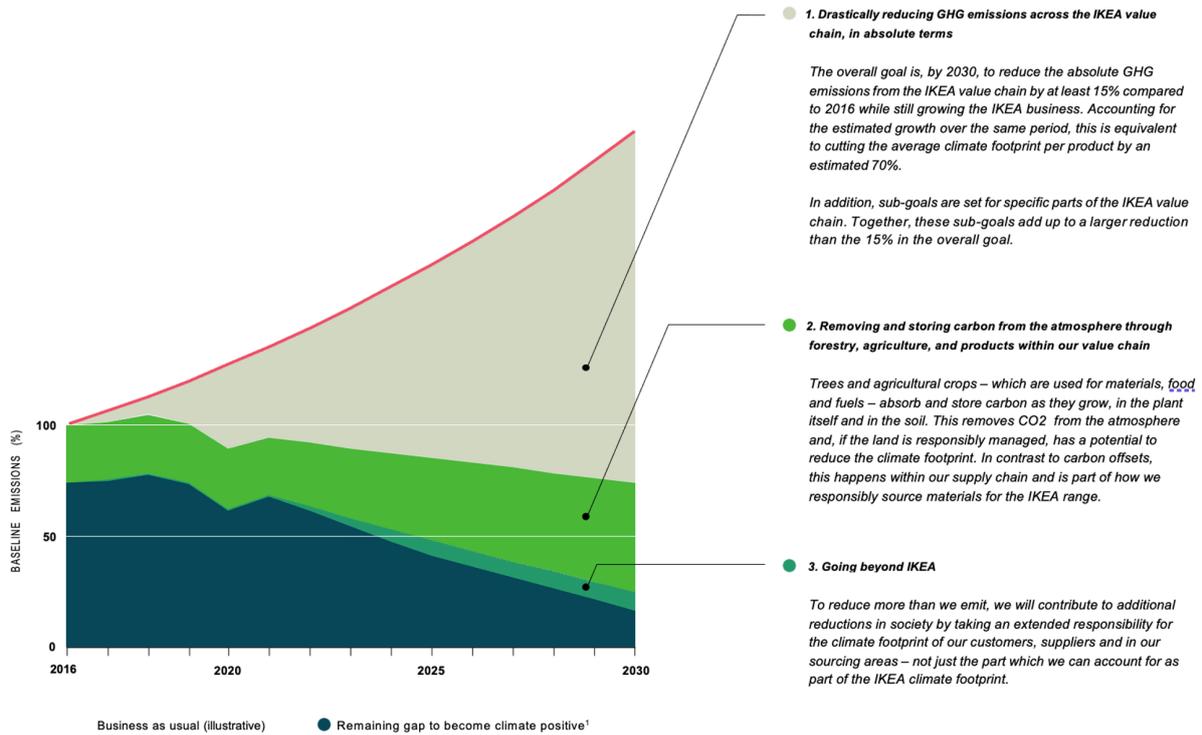
2. Becoming climate positive

By 2030, IKEA is committed to becoming climate positive by reducing more greenhouse gas (GHG) emissions than the IKEA value chain emits, while growing the IKEA business. This is how we contribute to limiting the global temperature increase to 1.5°C by the end of the century.

We will achieve our climate positive commitment without using carbon offsets, as we firmly believe that we need to address the root causes of our climate footprint within our own value chain or in connection to our customers, suppliers and sourcing areas. Only by doing so can we transform into a sustainable business.

The overall goal is, by 2030, to reduce the absolute GHG emissions from the IKEA value chain by at least 15% compared to 2016 while still growing the IKEA business. Accounting for the estimated growth over the same period, this is equivalent to cutting the average climate footprint per product by an estimated 70%.

In addition, sub-goals are set for specific parts of the IKEA value chain. Together, these sub-goals add up to a larger reduction than the 15% in the overall goal.



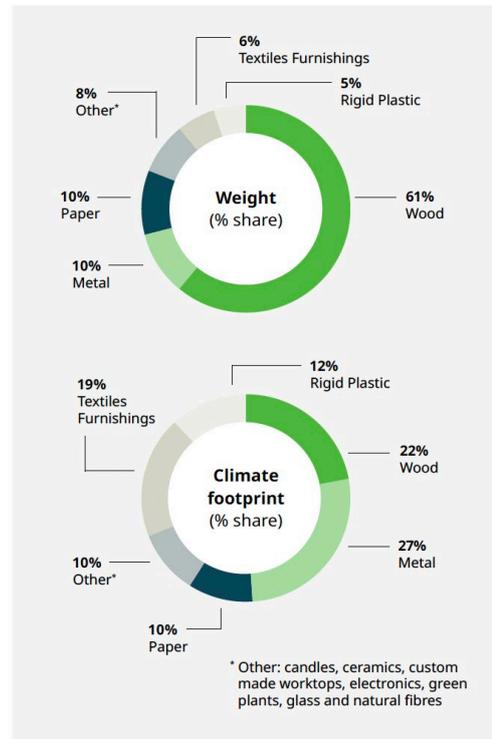
3. Reduction of carbon footprint in wooden furniture

There are many types of materials used in IKEA products. Altogether, they contribute the most to our climate footprint. That’s why, to reduce our climate footprint, it’s important to focus on the materials with the largest climate footprint: wood, metals, paper, textile furnishings and plastics. Combined, they represent about 90% of our material needs, with wood-based materials the largest by weight at 61%.

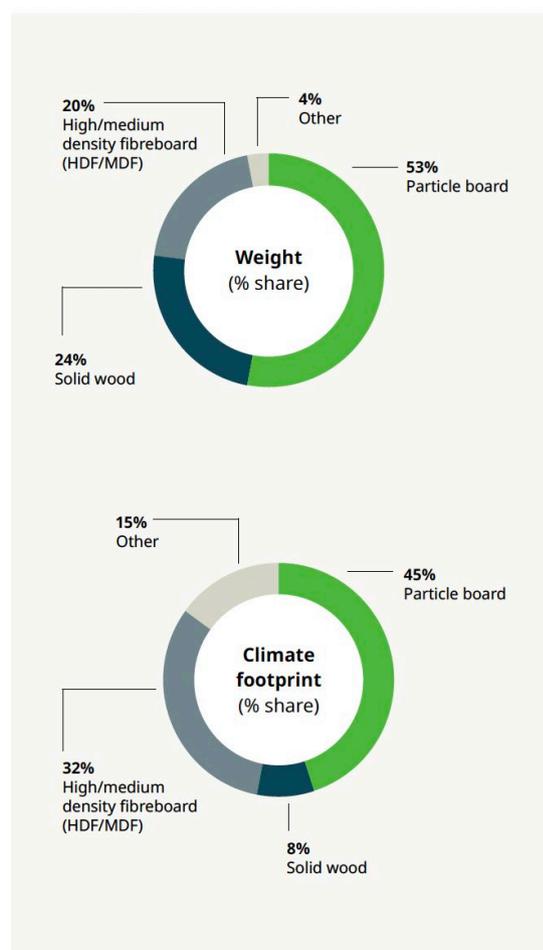
Reducing the climate footprint of materials is a long-term development agenda. Climate roadmaps are integrated into every IKEA material direction. These roadmaps have so far helped us to identify actions that will enable us to reach at least half of the needed footprint reduction by FY30.

Wood is the most used material in the IKEA range. It's part of our identity and Swedish heritage and includes particleboard, fibreboard and solid wood. Today, 99.5% of all wood and paper we use comes from more sustainable sources such as Forest Stewardship Council® (FSC®) certified or recycled.

Materials represent 52.2% of the total IKEA value chain climate footprint in FY21



Material footprint vs. material weight



Material footprint vs. material weight

We aim to improve the sustainability performance of wood even more through the IKEA Forest Positive Agenda 2030.

For many wood-based materials, we use a significant amount of glue to hold wood components or fibres together. Glue used in our boards represents

5% of the total IKEA climate footprint. That's why moving towards bio-based glues is a key enabler to meeting our overall climate goal. So far, we've mapped the existing and future alternatives in terms of performance, cost and climate footprint.

One bio-based system for particleboard is currently being prepared for implementation and another for fibreboard has advanced to smaller-scale production. Many more options are currently being explored, with IKEA Industry leading this development.

A big challenge with bio-based glues is that not all are compatible with our current conventional glue and application technology. A step-wise increase is therefore not possible. Instead, factories must switch entirely to bio-based glues and update their facilities and machinery/technology accordingly. There's a further challenge in keeping costs low, as most bio-based glues are still more expensive than fossil-based glues. One main reason is that fossil-based glues have been optimised for use in the board industry for over six decades.

Another way to reduce the climate footprint of wood-based materials is by securing that board materials are produced using 100% renewable energy. The wood-based board industry already has a high share of renewable energy. Now we're developing a quantified baseline to identify gaps and take the appropriate actions to secure 100% renewable energy.

4. Striving towards 100% renewable energy

Between FY20 and FY21, we saw significant steps in the use of renewable energy for the production of IKEA products – increasing from 47% to 48.5%.

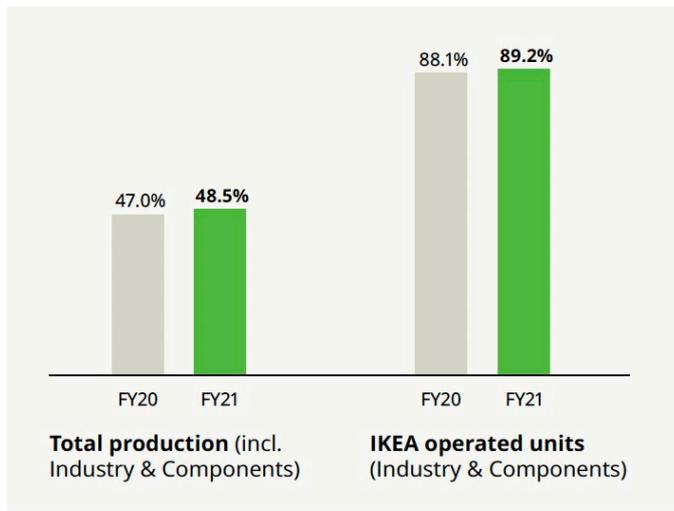
A main driver of this result has been our external wood-based furniture suppliers, where the share of renewable electricity increased from 52.9% in FY20 to 61.8% in FY21. Compared to last year, an additional 18 factories or suppliers have achieved 100% renewable electricity consumption, moving the total to 129. We still have a challenge within textile furnishing production, as the renewable energy share decreased to 15.2% in FY21 compared to 15.8% in FY20.

While more suppliers are achieving 100% renewable electricity, access to it remains a challenge for most. We hope to address this with the launch of our programme to enable the purchase of renewable electricity, starting with the countries where we face a large climate footprint and big challenges in accessing renewable electricity by purchasing it from the grid.

For our own factories operated by IKEA Industry, the share of renewable energy (electricity, heating and fuels) reached almost 90% in the calendar year 2020.

As of 1 January 2021, we have also secured 100% renewable electricity for IKEA Industry. But, consuming 100% renewable electricity is not enough. We want to make sure renewable electricity is also generated on-site at our units to make more renewable energy available to the many people.

To achieve this, there are a few big challenges: One challenge is linked to the legal permit process for solar panels in Poland, which is delaying the implementation of additional on-site installations.



Renewable energy share FY21 (%)¹

Another limitation is the applied tax for any installation above 0.5 MW in Sweden, which restricts the business case, especially when compared to other EU countries.

Accelerating suppliers' transition to 100% renewable electricity

In FY21, the IKEA business launched a new programme to accelerate suppliers' transition to 100% renewable electricity. The programme supports 1,600 direct suppliers and will first be introduced in three of the largest purchasing countries: Poland, China and India. Achieving 100% renewable electricity in these countries will save an estimated 451,000 tonnes of CO₂ emissions per year, equivalent to approximately 2% of the total climate footprint of the IKEA value chain.

5. References

- [1] This is an excerpt from the IKEA Climate Report FY21, the complete document is available at <https://about.ikea.com/en/newsroom/2022/01/17/sustainability-report-fy21-and-climate-report>

DAIKA Wood – Upcycling Wood Waste Streams into New Products

Dr. Michael Layani
DAIKA Ltd.
Rosh Haayin, Israel



DAIKA Wood – Upcycling Wood Waste Streams into New Products

1. SUMMARY DAIKA Wood

DAIKA Wood has developed a new material which is 100% natural. The material is composed from natural materials (no plastics or petroleum-based materials) and wood waste in a low energy no-waste streams process. While utilizing existing industrial mass-manufacturing processes such as extrusion and compression molding, the resulting products retain the unique properties of wood such as warmth, sense and acoustics and can be further processed as natural timber. The material can be extruded, moulded or printed giving shape to many solutions that can replace naturally grown wood and plastic with a sustainable bio-based and affordable material to manufacture products such as wall panels, furniture, construction materials, automotive parts, packaging, etc. DAIKA Wood has enhanced and customisable properties: water absorption, fire retardancy, decay and pest and rot resistance against fungi and bacteria without compromising the material's 100% natural composition. The material is fully recyclable.

DAIKA Wood is solving two main challenges:

- a. Utilization of the billions of tons of waste wood (agriculture, municipal and industrial) that are not currently being used in the spirit of a true circular economy.
- b. Creating a new raw material for mass manufacturing of sustainable process (much lower temperatures and pressure while compared to injection molding and no waste process) products.

2. CHALLENGES

2.1. Wood Waste

Text Manufacturers of wood products such as sawmills, furniture, construction pieces, industrial supports, etc., produce approximately 250 Mt in the EU alone each year. This waste difficult/not possible (e.g., treated and contaminated wood) to recycle, generating a large volume of wood waste that must be disposed of with the least possible environmental impact. High logistic costs to effectively handle the wood waste and separate it from plastic waste, impacting the profitability of recycling companies and public authorities and the shared resources involved in the process. The organic waste is turned into GHG instead of being used as a raw material for manufacturing industries. In addition, municipalities spend a substantial share of their budget on disposing and treating biomass waste streams. On average, 21% of municipal solid waste consists of what is known as «Green waste» – trimmings of trees, shrubs, and garden wastes – produced within the city frequently and in high volumes.

It is estimated that up to 30% of this resource is not or badly recovered, much being used as biomass with few upcycling applications. Hence, environmental impact generated by the industry results in significant challenges to handle the transition towards an economy with net-zero greenhouse gas (GHG) emissions by 2050.

2.2. Wood-Like Materials

Many industries, i.e. furniture and construction industry use raw materials that are based on wood-like materials, such as MDF/OSB boards. These contain hazardous binders such as formaldehyde. At the same time, increasing regulations and consumer trends are moving industry towards natural wood products, which has raised prices of natural timber in recent years. This market trend and regulatory development towards products being 100% sustainable has left industry without a clear solution that is both cost-effective in mass manufacturing processes and allows unique high-end designs. This is where DAIKA Wood with its 100% natural material comes in.

3. MATERIAL PROPERTIES

The unique chemistry of our EU patented innovation acts in a synergetic effect while creating unique covalent and ionic bonds that results in physical properties of high mechanical strength and wood properties (acoustic, thermal, and preventing water absorption as well as fire retardancy). The chemistry does not involve **any** thermoplastics nor epoxys or hazardous binders (i.e., formaldehyde). The process requires significantly less energy than compared to WPCs and plastics (saving 15KW*h/month, into >€1,700 per product line).

The invention (**PCT (WO) 2019/135245**) concerns methods and formulations comprising wood chips/wood powder and plant-extracted, natural binders (cellulose nanocrystals – CNCs- and hemicellulose) for constructing wood products. DAIKA Wood can be shaped through cold injection moulding and extrusion, overcoming the limitations currently existing in other methods requiring high temperatures and pressures or wood-based processes which utilise hazardous materials. Since then, we have further optimised our innovation, creating a real synergetic chemistry with all-natural materials to form the unique chemical bonds while enabling the manufacturing process based on extrusion and compression moulding. Our process is low temperature, pressure, and energy (reducing CO2 emissions), contributing directly to different climate actions and regulatory frames as the green deal objectives or COP26 (end and reverse deforestation by 2030). Plus, our products promote recyclability and a circular economy.

4. PROCESSING AND MANUFACTURING

DAIKA Wood's innovative material composition constitutes a unique sustainable material (directly from nature, 100% biodegradable and recyclable), scalable, customisable (can be extruded, injected in a mould, coloured and texturized), cost-effective, and that does not require any elevated heating and pressures. It allows mass manufacturing of various wood products ranging from wall panels and furniture to consumer products and electronics, or for coating a surface (wood composite).

DAIKA Wood can make compression moulding/extrusion wood products from fibres, water and recycled wood that looks and feels like natural wood and are of superior quality and effectiveness. Can replace plastic based materials (i.e., consumer products) due to their properties, promoting wood recycling and avoiding the use of new plastic products.

The manufacturing process overcomes the limitations of natural wood and avoids the use of plastics or hazardous binders. Providing a green manufacturing process biodegradable to wood objects that may be a standalone manufacturing process or may be integrated into existing operations in the industry. Their natural compositions can also be used as materials to replace conventional wood-like objects while using only raw materials composed of wood and plant components. With the growing demand for green materials, this invention eliminates the chemical safety issues currently encountered with current industries such as construction, and furniture.

5. OUTLOOK

DAIKA Wood intends to exploit its innovation by producing original DAIKA Wood products that fulfil various ecolabelling and Environmental Technology Verification (ETV and others such as EPD and LCA) standards and all other required certificates (mechanical, fire retardancy and water absorption). DAIKA Wood will focus on molding products that form our current expertise and on productivity, cutting costs, ensuring lasting quality and building reputation together with design partnerships such as Steelcase. Market entry will be via the furniture industry and design suppliers (architectures and designers).

Closing the loop: Möbelrücknahme und Kreislaufwirtschaft

Jan Kurth
Verbände der deutschen Möbelindustrie e.V.
Bad Honnef/Herford, Deutschland



Closing the loop: Möbelerücknahme und Kreislaufwirtschaft

1. Europa gibt die Richtung vor

Auswirkungen des Green Deal für die Möbelwirtschaft

Der «European Green Deal» und der zugehörige «Aktionsplan Kreislaufwirtschaft» stehen im Zentrum der Überlegungen der EU-Kommission zur wirtschaftlichen Erholung nach der Corona-Krise. Um die Märkte für zirkuläre Produkte und Dienstleistungen sowie für die Optimierung der Ressourcen zu stimulieren und den ökologischen Fußabdruck der EU-Wirtschaft und das Abfallaufkommen zu verringern, arbeitet die EU-Kommission aktuell an mehreren Gesetzesinitiativen.

Den Bereichen Lebenszyklusverlängerung der Produkte, Austauschbarkeit von Bauteilen, Trennbarkeit der Materialien und Schadstoffminimierung kommt hierbei besondere Bedeutung zu. Es ist außerdem davon auszugehen, dass der ökologische CO₂-Fußabdruck und weitere Nachhaltigkeitskriterien auch bei den Verbrauchern zunehmend eine relevante Rolle bei den Kaufentscheidungen spielen.

Weil die Nutzung von Holz und Holzwerkstoffen ein Möbel an sich noch nicht nachhaltig und zirkulär machen, bedarf es grundlegender Anstrengungen in der Möbelindustrie – zum Beispiel bei der Umsetzung neuer zirkulärer Anforderungen bei der Produktentwicklung. Die Möbelverbände begleiten die Entstehung der neuen Anforderungen und setzen sich für die Interessen der deutschen Möbelindustrie auf europäischer und nationaler Ebene ein.

Die EU-Kommission arbeitet in diesem Themenumfeld im Kontext des «Circular Economy Action Plans» (CEAP) unter dem Titel «Sustainable Product Initiative» (SPI) an einem mittelfristigen Maßnahmenpaket, das u.a. die Handlungsfelder «Informationsrecht der Verbraucher», «Recht auf Reparatur» sowie Ökodesign-Anforderungen enthält. Für dieses letztgenannte Handlungsfeld sollen absehbar EU-weit Digitale Produktpässe (DPP) in allen Wirtschaftsbereichen zur Pflicht werden.

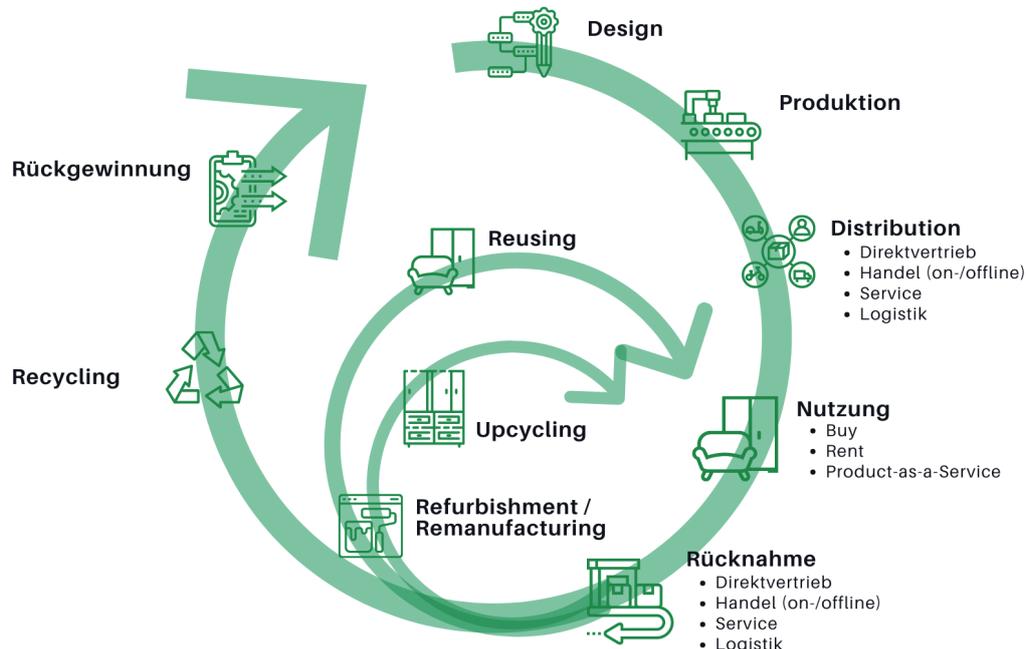
Unternehmen der Wertschöpfungskette ebenso wie Verbraucher sollen künftig genau nachprüfen können, wie ein Produkt beschaffen ist. Wobei die DPP-Daten nicht nur Kaufentscheidungen beeinflussen und die nachhaltige Kreislaufwirtschaft vereinfachen, sondern auch neue Schlüsselqualifikationen und Geschäftszweige im Möbelbusiness anstoßen.

Im Entwurf der mittlerweile vorliegenden europäischen Ökodesign-Verordnung (ESPR) ist das Thema für alle Länder einheitlich festgeschrieben. Der bislang bekannte Zeitplan sieht vor, dass bis Frühjahr 2023 entschieden werden soll, zu welchen Produktgruppen im ersten Arbeitspaket sogenannte «Delegated Acts» erlassen werden, um die konkrete Umsetzung vorzubereiten. Es spricht Vieles dafür, dass auch Möbel bereits frühzeitig in die Umsetzung kommen.

Was soll mit diesen digitalen Produktpässen erreicht werden? Sie sollen u.a. Hinweise geben zum für die Produkte eingesetzten Ressourcenverbrauch. In diesem Zusammenhang wurden die sogenannten R-Strategien entwickelt. Für eine längere Lebensdauer und entsprechende Wertschöpfung gelten als Kernelemente: «Rethink», «Resell/Reuse», «Repair», «Refurbishment» und «Remanufacturing». Zur Vermeidung von unnötigem, womöglich umweltschädlichem Abfall und zur Weiterverwertung sind «Reduce» beziehungsweise «Recycling» gefordert.

Daraus ergeben sich verschiedene Handlungsfelder für die Bereiche Design, Einkauf, Produktion, Vertrieb oder Nutzung – die wiederum weitreichende Maßnahmen beinhalten, von der Verwendung von Rezyklaten über die verstärkte Reparierbarkeit von Produkten bis hin

zur Schaffung einer Infrastruktur zur Rücknahme von Produkten beispielsweise für eine zweite Lebens- bzw. Nutzungsphase. Hieraus werden sich sicherlich in den kommenden Jahren viele neue Businessmodelle entwickeln.



Quelle: Lab of Rent

1.1. Rückgewinnung von Rohstoffen

In Deutschland werden pro Jahr Möbel im Wert von rund 30 Mrd. € an private Endverbraucher verkauft. Ein großer Teil dieser Möbel ist holzbasiert und wird entweder aus Holzwerkstoffen (Spanplatten) oder aus Vollholzteilen hergestellt.

Sofern neue Möbel in den Verkehr gebracht werden, werden hierfür in den meisten Fällen alte Möbel ausgetauscht und nach derzeitigem Stand in der Regel über die Sperrmüllabfuhr entsorgt. Diese überwiegend kommunal organisierte Sperrmüllabfuhr zerkleinert die Möbel üblicherweise schon im Pressfahrzeug vor Ort, sodass daraus ein Mix aus unterschiedlichen Materialien entsteht, der zu einem großen Teil später der thermischen Entsorgung zugeführt wird. Ein anderer Verwertungsweg von Altmöbeln sind Sammelstellen bzw. Wertstoffhöfe, bei denen ebenfalls bestimmte Materialien getrennt gesammelt und dann einer weiteren Entsorgung bzw. Verwertung zugeführt werden.

In Deutschland fallen pro Jahr etwa 8 Mio. Tonnen Altholz an, wovon ein großer Teil aus Altmöbeln bzw. Sperrmüll bzw. Abfällen aus Baumaterialien, Verpackung oder Messebau besteht. Vor dem Hintergrund des aktuellen Roh- und Energiestoffmarktes gehen die in Deutschland eingesammelten Holzabfälle momentan in der Regel entweder in die thermische Verwertung bzw. in die Verstromung von Biomasse. Nur ein geringer Teil wird aktuell bei Altholzverwertern aufbereitet und dem Stoffkreislauf wieder zugefügt.

Für die aus Holzwerkstoffen (hauptsächlich Spanplatte) hergestellten Möbel wird in Deutschland überwiegend Frischholz eingesetzt. Dieses Frischholz wird aus Holzreststoffen gewonnen, die z. B. im Sägewerksprozess anfallen. Die hier im Prozess anfallenden Späne werden in unterschiedlichen Größen und Güteklassen für die Produktion von Holzwerkstoffen verwendet, indem das Material zusammen mit Leimanteilen verpresst wird. Zudem findet als Frischholz in der Holzwerkstoffproduktion Material Einsatz, das für konstruktive Bauelemente aus Holz nicht gebraucht werden kann – so etwa Kronenmaterial oder zerkleinerte Äste.

Neben dem Frischholz wird bei der Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland auch ein Teil von Altholzfraktionen eingesetzt, der in einem Mix über unterschiedliche Hersteller und Werke in Deutschland aktuell etwa zwischen 25 und 40 % des insgesamt eingesetzten Materials liegt. In anderen europäischen Ländern – so beispielsweise Italien – liegt der Anteil von Altholzfraktionen deutlich höher und kann in der Spitze 90 bis 100 % des insgesamt eingesetzten Materials betragen.

Auch in Deutschland gibt es seitens der Holzwerkstoffhersteller Bestrebungen, den Altholzanteil zu erhöhen. Aktuell besteht hinsichtlich dieser Bestrebungen eine wesentliche Hürde: Es steht schlicht zu wenig Altholzmaterial zur Verfügung. Grund für diesen Mangel ist der aktuell hohe Preis, der bei einer energetischen statt stofflichen Verwendung erzielt werden kann. Eine Energiegewinnung aus Altholz ist vor dem Hintergrund explodierender Energiepreise äußerst lukrativ geworden. Deshalb verbleibt für die stoffliche Verwertung im Rahmen der Holzwerkstoffherstellung zu wenig Altholzmaterial.

Vor dem Hintergrund der dargestellten Knappheiten hinsichtlich des Altholzmaterials für eine stoffliche Verwertung sollte über den Aufbau eines Rücknahmesystems für Altmöbel nachgedacht werden. Zielsetzung kann hier sein, den Anteil des eingesetzten Altholzmaterials insgesamt bei der Produktion von Holzwerkstoffen für die Herstellung von Möbeln zu erhöhen und damit den Anforderungen einer funktionierenden und politisch geforderten Kreislaufwirtschaft besser genügen zu können. Außerdem kann über diesen Weg den Herstellern von Holzwerkstoffen der Zugang zu Altholzmaterialien erleichtert werden. Zum Aufbau eines solchen brancheninternen Rücknahmesystems braucht es den Zusammenschluss der gesamten Prozesskette Möbel von der Holzwerkstoffherstellung über die Möbelproduzenten bis hin zum Möbelhandel. Um den Stoffkreislauf umzuleiten und damit den Weg von Altmöbeln über die Sperrmüllabfuhr direkt in die thermische oder energetische Verwertung zu reduzieren, bietet sich ein System der «Selbstverpflichtung» zur Rücknahme von Altmöbeln an. Zielsetzung: Für jedes neu in den Verkehr gebrachte Möbel wird ein Altmöbel eingesammelt und in den stofflichen Kreislauf zurückgeführt.

Dies kann erreicht werden, indem beispielsweise beim Verkauf von neuen Möbeln den Kunden der Service einer Altmöbelentsorgung gleich mitangeboten wird, um damit den Austausch effizient organisieren zu können. Am Beispiel einer Küche kann dieser Prozessweg wie folgt aufgezeigt werden: Beim Verkauf von Küchen hat der Verkaufsprozess üblicherweise einen etwas längeren Planungsvorlauf und berührt auch zusätzliche Gewerke. Bevor eine neue Küche in den Haushalten aufgebaut und in Betrieb genommen werden kann, wird – abseits des Neubaus – in der Regel eine alte Küche im Vorfeld demontiert, Renovierungs- oder Handwerksleistungen geplant und erbracht und danach eine neue Küche installiert. Über einen angebotenen Demontage-Service des Küchenhandels kann zukünftig die alte Küche im Vorfeld demontiert und einem eigenen brancheninternen Entsorgungssystem zugeführt werden. Die demontierte Küche geht dabei in das Eigentum des Möbelhandels bzw. einer brancheninternen Einrichtung über.

Um ein solches eigenes Rücknahmesystem effizient und passgenau installieren zu können, wird sich die Möbelbranche externen Entsorgungs- und Altholzaufbereitungsexperten bedienen, über die einerseits die Dienstleistung Demontage, der Transport, die Lagerung und die Aufbereitung organisiert wird.



Aufbereitung von Altholz

Block B1

Bau: Skalierende Massnahmen für die Umsetzung

Bioökonomie – Was kann die Ökobilanzierung leisten?

Prof. Dr.-Ing. Sandra Krommes
Technische Hochschule Rosenheim
FG Sustainable Engineering & Management
Rosenheim, Deutschland



Bioökonomie – Was kann die Ökobilanzierung leisten?

1. Einleitung

Die Forst- und Holzwirtschaft ist einer der wesentlichen Sektoren der Bioökonomie. Denn der Rohstoff Holz hat bei der Transformation der Wirtschaft von fossilen zu nachwachsenden, biotischen Rohstoffen eine hohe Relevanz. In Deutschland wird Holz als Primärrohstoff bisher überwiegend stofflich in der Säge- und Holzindustrie sowie der Holzwerkstoff-, Papier- und Zellstoffindustrie genutzt. Darüber hinaus fließt Holz als Brennstoff in private Haushalte als auch wird Holz gewerblich für die Energieerzeugung genutzt [1].

Zukünftig wird sich die Nutzung des Rohstoffes Holz in Richtung neuer und innovativer Produkte diversifizieren, wobei die klassischen Produkte und Industrien nicht an Marktbedeutung verlieren. Die Notwendigkeit der Decarbonisierung und der Defossilisierung sowie die damit verbundenen Herausforderungen der Wirtschaft in Europa und Deutschland werden voraussichtlich zu einem Anstieg der Holz-Nachfrage in der Zukunft führen. Neue, innovative Nutzungen werden in den klassischen Holzindustrien, aber auch in der Chemischen Industrie, Kunststoff- und Textilindustrie bis hin zur Automobilindustrie gesehen [2, 3]. Dabei sollen sie Produkte aus fossilen und abiotischen Rohstoffen substituieren. Die steigende Nachfrage erhöht den Erntedruck auf die Wälder und macht eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder unter den Rahmenbedingungen von Klimaveränderungen und deren Auswirkungen unerlässlich. Gleichfalls steigt damit die Notwendigkeit den Rohstoff Holz auch als Sekundärrohstoff stofflich anstatt energetisch zu nutzen und somit die Kaskadennutzung zu steigern. Zwar präferieren rechtliche Rahmenbedingungen wie Kreislaufwirtschaftsgesetz und Altholz-Verordnung die stoffliche vor der energetischen Verwertung in Abhängigkeit der Altholzklassen, dennoch gehen etwa zwei Drittel des in Deutschland anfallenden Altholzes in die energetische Verwertung [4, 5]. Das Potential für stoffliche Nutzungen von Holz in der Kaskade bzw. Kreisläufen wird somit nicht ausgeschöpft.

Daher bedarf es Methoden auf verschiedenen Ebenen, die das Potential zur Decarbonisierung und Defossilisierung der Bioökonomie bewerten und Informationen zur Entscheidungsunterstützung und Planung bereitstellen. Dies fordert implizit auch die Nationale Bioökonomiestrategie. Im Rahmen des Ziels «Potenziale der Bioökonomie innerhalb ökologischer Grenzen erkennen und erschließen» werden drei Unterziele formuliert: (1) Etablierung eines umfassenden Monitoring, (2) Messung und Bewertung der Biomasseströme und (3) Anwendung von vergleichenden Nachhaltigkeitsbilanzierungen [6].

2. Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung

2.1. Methoden im Überblick

Methoden zur Bewertung der Nachhaltigkeit lassen sich nach den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und dem Bewertungsgegenstand bzw. -ebene charakterisieren (Abbildung 1). So liegt den Methoden mindestens eine der drei Dimensionen Ökologie (Umwelt), Ökonomie und Soziales zugrunde. Die Bewertungsebene kann sich auf die Mikro-, Meso- oder Makroebene beziehen. Zur Bewertung der Decarbonisierung und der Defossilisierung sind vor allem Methoden mit dem Fokus auf die ökologische Dimension erweitert um Methoden mit ökonomischen und sozialen Kriterien heranzuziehen, um dem Anspruch der Nachhaltigkeit über alle drei Dimensionen gerecht zu werden. Die meisten Methoden beziehen sich auf die Mikroebene und betrachten damit ein Produkt bzw. eine Dienstleistung oder einen Prozess. Als weitestgehende Methodik zur ökologischen Bewertung hat sich die Ökobilanzierung etabliert. Demgegenüber existieren wenige Methoden, die sich der ökologischen Bewertung auf Meso- (Institutionen, Organisationen, Unternehmen) und Makroebene (Markt, Sektor, Volkswirtschaft) widmen. Im Kontext der Ökobilanzierung finden sich hybride Methoden, die Methoden der Meso- und Makroebene mit der Ökobilanzierung kombinieren. Zu nennen ist beispielsweise die Kombination einer Input-Output-Analyse mit der Methode der Ökobilanzierung, um auf volkswirtschaftlicher, Markt- oder Sektoren-Ebene ökologische Bewertungen zu ermöglichen.

Analytische Methoden	Ebene			Nachhaltigkeits-Dimension			Bemerkungen
	mikro	meso	makro	ökologisch	sozial	ökonomisch	
Material Flow Analysis (MFA)			■	■			Analyse der Stoffströme der natürlichen Ressourcen und Materialien
Substance Flow Analysis (SFA)			■	■			Analyse der Stoffströme von Ressourcen/spezifischen Substanzen
Energy / Exergy Analysis (EA)	■			■			Analyse des Energiebedarf / Exergie von Produkten und Prozessen
Life Cycle Assessment (LCA)	■			■			Umweltwirkungen von Produkte/Dienstleistungen und Prozesse
Social Life Cycle Assessment (sLCA)	■				■		Soziale Analyse von Produkten/Dienstleistungen und Organisationen
Life Cycle Costing (LCC)	■					■	Kosten von Produkte/Dienstleistungen über den Lebenszyklus
Environmental Extended Input Output Analysis (EIOA)/ Hybrid LCA		■	■	■			Umweltwirkungen von produzierenden Gewerbe und Dienstleistungssektor
Risk analysis (RA)	■						Analyse der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen
Cost-Benefit Analysis (CBA)	■	■	■			■	Ökonomie (schließt Kosten für Umwelt- und soziale Wirkungen ein)
Eco-Efficiency Analysis (EE)	■			■	■		Berücksichtigung der ökonomischen und ökologischen Dimensionen
Environmental Accounting / GhG Accounting			■	■			Natürliche Ressourcen und Emissionen

Abbildung 1: Überblick über Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung [in Anlehnung an 7]

Andere Methoden der Nachhaltigkeitsbewertungen fokussieren wie die Materialflussanalyse (MFA) oder Substanz-/Stoffstromanalyse auf natürliche Ressourcen und Materialien oder ausgewählte Stoffströme, um die Flüsse oder Ströme zu bilanzieren [8]. Sie beschäftigen sich nicht mit den Umweltwirkungen dieser Flüsse oder Ströme auf Menschen und Umwelt wie die Methode der Ökobilanzierung.

2.2. Ökologische Fragestellungen der Bioökonomie

Im Rahmen der Bioökonomie(-strategie) ergeben sich im Hinblick auf die Bewertung der Biomasseströme und der vergleichenden Nachhaltigkeitsbilanzierung verschiedene ökologische Fragestellungen (Abbildung 2). Während die vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzierung meist die Mikro-Ebene anspricht und auf Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse fokussiert, rückt bei der Bewertung der Biomasseströme die Makro-Ebene (Sektoren, Märkte, Regionen, Volkswirtschaften) in den Mittelpunkt.

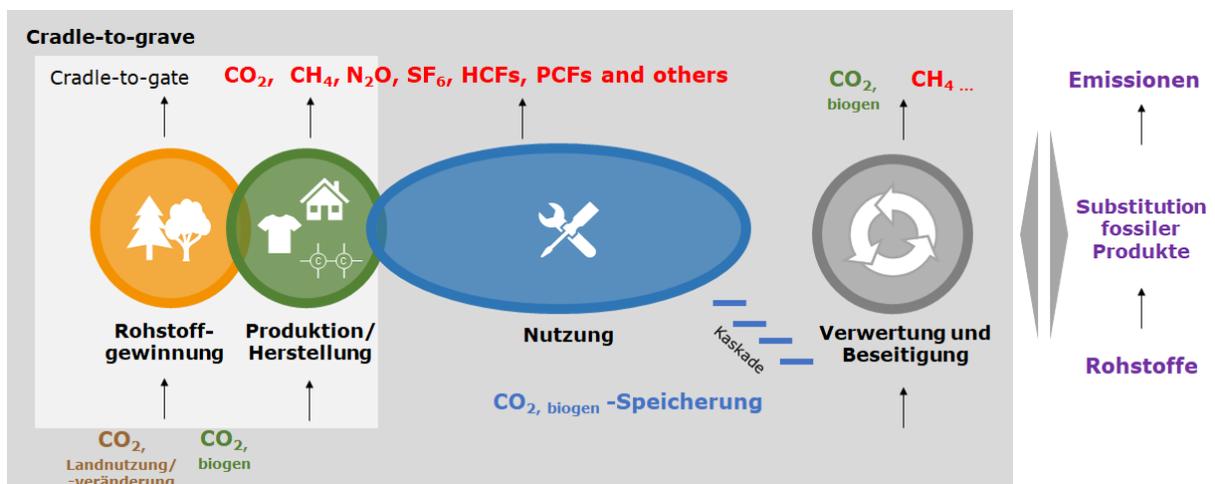


Abbildung 2: Ökologische Fragestellungen der holzbasierten Bioökonomie

Hinsichtlich der Wirkungen der Bioökonomie und seiner Produkte auf die Decarbonisierung sind vor allem Fragestellungen relevant,

- inwiefern eine Landnutzung oder -veränderungen für den Anbau von Biomasse zu Treibhausgas-Emissionen führt,
- welche und wieviel Treibhausgas-Emissionen von der Wiege bis zur Bahre (cradle-to-grave) entstehen, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung des Produkts bis zur Verwertung und Beseitigung,
- wie viel biogener Kohlenstoff in dem Produkt und ggfs. seinen Sekundärrohstoffen, die in einer Kaskade genutzt werden, gebunden wird und wie lange der biogene Kohlenstoff gespeichert wird sowie
- welche fossilen Materialien oder Produkte durch biobasierte Produkte substituiert werden.

Dabei ist bei der Bilanzierung und Bewertung der Treibhausgas-Emissionen über den Lebenszyklus zwischen fossilen und biogenen Treibhausgas-Emissionen zu unterscheiden. Bei den biogenen Treibhausgasen, insbesondere CO₂, wird davon ausgegangen, dass das in der Wachstumsphase aufgenommene CO₂ und damit der biogen gebundene Kohlenstoff in der Pflanze am Lebenszyklusende wieder in gleicher Masse freigesetzt wird. Anders verhält es sich, wenn der biogen gebundene Kohlenstoff nicht in Form von CO₂, sondern anderen Treibhausgasen wie CH₄ freigesetzt wird. Zudem kann es durchaus von Bedeutung sein, wie viel und wie lange biogener Kohlenstoff in einem Produkt und ggfs. weiterführend in Sekundärrohstoffen gespeichert wird, um einen langfristigen Effekt auf die Reduktion der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre zu haben. Ebenso spielt es eine Rolle, ob und welche Produkte durch biobasierte Produkte oder Materialien ersetzt werden, um eine effektive Bioökonomiestrategie umzusetzen.

Ähnliche Überlegungen treffen auch auf die Defossilisierung und damit die Reduktion des fossilen Primärrohstoffverbrauchs zu. Die positiven Umweltwirkungen von biobasierten Produkten und Materialien lässt sich an dessen Sekundärrohstoff- und Kaskadennutzungspotential als auch an den Substitutionseffekten bewerten.

2.3. Normen und Standards im Kontext der Ökobilanzierung

Die Methode der Ökobilanzierung ist die wissenschaftlich und in der Praxis etablierteste Methode zur Bewertung von Umweltwirkungen von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen. Die methodischen Inhalte und Vorgehensweise regeln die Normen ISO 14040: 2006 und ISO EN DIN 14044: 2006 [9, 10]. Die im Englischen mit Life Cycle Assessment (LCA) übersetzte Methode der Ökobilanzierung beruht auf dem Lebenszyklusansatz. D.h. es werden die Umweltwirkungen eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis zur Verwertung und Beseitigung erfasst und bewertet. Die methodische Vorgehensweise unterteilt sich in vier Phasen: (1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, (2) Sachbilanz, (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung [11, 12]. Klassische Anwendungen der Ökobilanzierung sind:

- Produktentwicklung und -verbesserung, Design for Environment und Schwachstellenanalyse,
- Strategische Planung,
- Informationen für Gesetzgebungsverfahren,
- Marketing und Produktinformation für Konsumenten für Produktvergleiche oder Umweltzeichen und
- Bilanzierung von Unternehmen oder Organisationen [11].

Weiterführende Standards zur Bilanzierung und Bewertung des CO₂ Fußabdruckes eines Produktes wie ISO 14067: 2018, PAS 2050 und GhG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard (Product Standard): 2011 oder zur Bilanzierung und Bewertung von biobasierten Produkten (EN DIN 16760: 2015) bis hin zu grundlegenden Regeln für die Erstellung von Umweltprodukterklärungen für Bauprodukte und deren Verpackung (DIN EN 15804: 2012+A2:2019+AC:2021) bauen auf den ISO EN DIN Standards 14040: 2006 und 14044: 2006 auf.

Beim Vergleich der verschiedenen weiterführenden Standards zur Bilanzierung des CO₂ Fußabdruckes oder biobasierter Produkte wird deutlich, dass die meisten Standards eine separate Bilanzierung und Darstellung von biogenen Kohlenstoffemissionen und Treibhausgas-Emissionen aus Landnutzung und -veränderung sowie vereinzelt die Quantifizierung von biogenem Kohlenstoff im Produkt in Abhängigkeit der Systemgrenzen-Definition zur Verfolgung der biogenen Kohlenstoffströme fordern. Die Quantifizierung der Substitutionseffekte durch Sekundärrohstoffe und deren separate Darstellung ist nur in der DIN EN 15804 definiert. Demgegenüber werden die Dauer der Speicherung von biogenem Kohlenstoff im Produkt oder weiterführend in Sekundärrohstoffen (Kaskadennutzung, Kreislaufschließung) oder die Umwelteffekte durch die Substitution von fossilen durch biobasierte Produkte in den Standards nicht berücksichtigt.

3. Ökobilanzierung als Instrument der Bioökonomiestrategie

Die grundlegenden und weiterführenden Standards der Ökobilanzierung liefern weitreichende Methoden und Vorgehensweisen zur vergleichenden Nachhaltigkeitsbilanzierung auf Mikro-Ebene. Somit können biobasierte Produkte untereinander oder biobasierte und fossile Produkte anhand wesentlicher Umweltkriterien (Umweltwirkungskategorien) miteinander verglichen werden. Zudem können Informationen im Sinne einer ökologischen Schwachstellenanalyse zur Verbesserung des Produktes und seiner Prozesse über den Lebenszyklus im Hinblick auf wesentliche Umweltwirkungen erfasst und bewertet werden. Die Bilanzierung von Substitutionseffekten für Sekundärrohstoffe sind in der Norm für Umweltprodukterklärungen (DIN EN 15804) möglich, während die mit der Transformation der Wirtschaft verbundene Substitution von fossilen Produkten in den Standards nicht berücksichtigt sind. Letztere ergeben sich vielmehr aus einer vergleichenden Ökobilanzierung von biobasierten mit fossilen Produkten. Gleichwohl zeigt sich bei der vergleichenden Ökobilanzierung von biobasierten und fossilen Produkten, dass durch die separate Bilanzierung von biogenem Kohlenstoff positive Umwelteffekte bei biobasierten gegenüber fossilen Produkten abschmelzen (siehe vergleichende Ökobilanzierung im Vortrag). Bisherige Darstellungen in Umweltprodukterklärungen, insbesondere bei Systemgrenzen von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor (cradle-to-gate), weisen die positiven Effekte der biogenen Kohlenstoffbindung oftmals aus. Zukünftig müssen Umweltprodukterklärungen zwischen verschiedenen Treibhauspotentialen (Landnutzung- und -veränderung, biogen, fossil) differenzieren.

Auf Makro-Ebene existieren eine Reihe von Instrumenten zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wäldern und deren Bewirtschaftung, die aufgrund anderer Zielsetzungen nur begrenzt die Umweltwirkungen der nachgelagerten Holz-Wertschöpfungsketten aufzeigen [13, 14]. Für eine Bewertung der Biomasseströme – auch im Hinblick auf zukünftig zu erwartende Nutzungskonkurrenzen – sind Methoden und Instrumente unerlässlich, die die Forst- und Holzwertschöpfungskette ganzheitlich und kombiniert betrachten. Hybride Methoden wie die Input-Output-Analyse und LCA nutzen statistische Vergangenheitsdaten zu Rohstoff-, Halbzeug- und Produktströmen und verknüpfen sie mit der Methodik der Ökobilanzierung. Somit lassen sich wertvolle Informationen für die zukünftige Planung gewinnen. Strukturelle Veränderungen oder Technologieentwicklungen in der Holzwertschöpfungskette lassen sich mit dieser Methoden schwieriger abbilden. Das EU Horizon 2020 Projekt ONEforest geht methodisch neue Wege, indem es bestehende Waldwachstumsmodelle mit einer sozio-ökonomischen und ökologischen Modellierung kombiniert, um Projektionen über die Entwicklung der Wald- und Holzwertschöpfungskette unter Berücksichtigung von veränderten Rahmenbedingungen zu machen. Die Quantifizierung der ökologischen Wirkungen basiert dabei auf der Methode der Ökobilanzierung. Ziel des Projektes ONEforest ist es, zur Entscheidungsunterstützung von Stakeholdern Informationen zu ökonomischen, sozialen und ökologischen Wirkungen bereitzustellen, die unterschiedliche Waldbewirtschaftungsoptionen und deren Auswirkungen auf die stoffliche und energetische Nutzung in der Holzwertschöpfungskette abbilden [15]. Somit lassen sich für eine strategische Planung der Bioökonomie Biomasseströme in der Zukunft simulieren und bewerten sowie losgelöst von der Methodik der Ökobilanzierung zusätzliche Aussagen zur Dauer des biogen gespeicherten Kohlenstoffs oder den durch Substitutionseffekte bedingten Umwelteffekten treffen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Methodik der Ökobilanzierung ist auf Mikro- und Makroebene eine robuste Methodik zur Bewertung von Umweltwirkungen in der Bioökonomie. Die Novellierung bestehender als auch die Erarbeitung neuer Standards im Kontext der Bioökonomie und biobasierter Produkte als auch dringender, ökologischer Nachhaltigkeitsfragestellungen wie anthropogener Treibhauseffekt und Rohstoffverbrauch unterstreicht die Bedeutung und Leistungsfähigkeit der Methode der Ökobilanzierung. Gleichwohl besteht für einzelne Fragestellungen auf Mikro- und Makro-Ebene noch Potential, dem einzelne, weiterführende Standards beispielsweise durch die Quantifizierung des gespeicherten biogenen Kohlenstoffs

bereits begegnen oder durch eine hybride Methoden-Kombination, die auf Makro-Ebene die Anwendung der Ökobilanzierung für strategische Fragestellungen ermöglicht. Somit lässt sich die Methodik der Ökobilanzierung auch für die mittel- bis langfristige Planung der Bioökonomie nutzen.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S., ROHSTOFFMONITORING HOLZ, Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 38, FNR, Gülzow-Prüzen, 2018.
- [2] Bioökonomierat, Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten, 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierates, Berlin, 2022.
- [3] Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, München, 2020.
- [4] Flamme, S.; Hams, S.; Bischhoff, J.; Fricke, C., Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung, UBA Texte 95/2020, Berlin, Dessau.
- [5] Sperl, S., Szenariobasierte Untersuchung der Altholzströme in Deutschland mittels Materialflussanalyse, Rosenheim, 2021.
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Nationale Bioökonomiestrategie, Berlin, 2020.
- [7] Jeswani, H.; Azapagic, A.; Schlepelmann, P. Ritthoff, M., Options for broadening and deepening the LCA approaches, in: Journal of Cleaner Production, 2010, Vol. 18, S. 120-127.
- [8] Brunner, P. H.; Rechberger, H., Handbook of Material Flow Analysis, For Environmental, Resource, and Waste Engineers, Second Edition, 2017.
- [9] DIN EN ISO 14040: 2006 + A1: 2020, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- [10] DIN EN ISO 14044:2006 + + A1:2018 + A2:2020, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- [11] Frischknecht, R., Lehrbuch der Ökobilanzierung, Berlin, 2020.
- [12] Klöpffer, W.; Grahl, B., Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Weinheim, 2009.
- [13] Lindner, M.; Suominen, T.; Palosuo, T.; Garcia-Gonzalo, J.; Verweij, P.; Zudin, S.; Paivinen, R., ToSIA-A tool for sustainability impact assessment of forest-wood-chains, Ecological Modeling, 2010, Vol. 221, S. 2197-2205.
- [14] Palosuo, T.; Suominen, T.; Werhahn-Mees, W.; Garcia-Gonzalo, J.; Lindner, M., Assigning results of the Tool for Sustainability Impact Assessment (ToSIA) to products of a forest-wood-chain, Ecological Modeling, 2010, Vol. 221, S. 2215-2225.
- [15] EU Horizon 2020 ONEforest project, A Multi-Criteria Decision Support System For a Common Forest Management to Strengthen Forest Resilience, Harmonise Stake-holder Interests and Ensure Sustainable Wood Flows, EU Grant Agreement N° 101000406 <https://oneforest.eu/> (abgerufen am 23.1.23).

Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Karl-Heinz Weinisch
IQUH GmbH
Institut für Qualitätsmanagement und Umfeldhygiene
Weikersheim, Deutschland



Materialaspekte aus dem Blickwinkel der Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

1. Entwicklung der nachhaltigen Bauweise

Die nachhaltige Bauweise hat sich in den letzten 50 Jahren stark entwickelt. Früher wurde hauptsächlich auf die Verwendung von natürlichen Materialien und die Energieeffizienz geachtet. Heute wird jedoch ein viel breiterer Ansatz verfolgt, der die Umweltauswirkungen des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt, von der Planung über den Bau bis hin zur Nutzung und Entsorgung. Dazu gehören beispielsweise die Verwendung von erneuerbaren Energien, die Schaffung von natürlichen Ökosystemen auf dem Gelände, die Möglichkeit zur Wiederverwendung und Recycling von Baumaterialien und die Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden der Nutzer.

In den letzten Jahrzehnten hat sich zudem die Luftdichtheit von Gebäuden verbessert, um Wärmeverluste zu reduzieren und die Energieeffizienz zu erhöhen. Dies hat jedoch auch Auswirkungen auf die Innenraumluftqualität, da durch die erhöhte Dichtheit weniger frische Luft von außen ins Gebäude gelangt und Schadstoffe und Feuchtigkeit eingeschlossen werden können. Ein Mangel an ausreichender Belüftung kann zu einer Vielzahl von Gesundheitsproblemen führen, wie Atemwegsbeschwerden und Schimmelbildung. Um diese Probleme zu vermeiden, ist es wichtig, dass Gebäude über ausreichende Belüftungs- und Entlüftungssysteme verfügen und die Materialien sorgfältig ausgewählt werden. Denn was nicht eingebracht wird, kann nicht als Emission entweichen.



Abbildung 1: Stoffkreislauf – Übersicht

Sorgfältig geplante und gebaute Gebäude mit geprüften Baustoffen sind ein Garant für gute Raumluftqualität und die Gesundheit.

2. QNG-Materialanforderungen

Deutschland hat sich ein ambitioniertes Ziel gesetzt: Bis 2045 soll der Gebäudebestand klimaneutral sein.

Der Bund fördert daher im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) seit 1. Juli 2021 Nachhaltigkeitsaspekte durch eine eigene «NH-Klasse». Der erforderliche Nachweis für die Förderung erfolgt über die Vergabe des Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG).



Abbildung 2: Informationsportal (des Ministeriums – www.nachhaltigesbauen.de)

Das «Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude» ist ein staatliches Qualitätssiegel für Gebäude. Voraussetzung für die Vergabe des Qualitätssiegels ist ein Nachweis der Erfüllung allgemeiner und besonderer Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität von Gebäuden. Recycelte Stoffe oder nachwachsende Rohstoffe wie Holz oder pflanzliche Dämmstoffe erfüllen zumeist vorbildlich diese Zielvorgaben. Bei Materialprüfungen werden die Auswirkungen auf die Arbeits-, Umwelt- und Bewohnerverträglichkeit betrachtet. Die Berücksichtigung von ökologischen Vorteilen sorgt für eine weltweite Klimaverbesserung und eine Verbesserung der Wohnbehaglichkeit. Dabei sind Auswirkungen in der Herstellungs-, Liefer-, Verarbeitungs- und während der Nutzungsphase insbesondere bei der Gebäudepflege, den Instandhaltungen und Renovierungen oder beim Rückbau zu betrachten, um Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch Bauprozesse vermeiden zu können.

Umweltschonende und energieeinsparende QNG Anforderungen wurden am 01.01.2023 erneut geändert und sind zwingend einzuhalten, wenn mit KfW Fördermittel gebaut wird. QNG Grundlage ist die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG/QNG Broschüre). Die Bewertungsregeln entstammen dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB Leitfa-den) des Bundesbauministeriums.

Für die Erlangung des QNG wurden konkrete Anforderungen an einzelne Bauprodukte formuliert. Für das **QNG-PLUS** ist von den ausführenden Firmen die Einhaltung dieser Anforderungen zu bestätigen. **QNG-PREMIUM** erfordert eine genaue Dokumentation der verwendeten Baustoffe und bietet somit eine höhere Transparenz und Vorteile für Sanierung und Rückbau.

Für die Schadstoffvermeidung gibt es den **QNG-Anforderungskatalog (313) für Baumaterialien** mit Anwendungsregeln, deren Prüfung für ein ganzes Gebäude umfangreich sein kann.

Die Anforderungen enthalten je nach Produktbereich konkrete Stoffbeschränkungen (z. B. Chlorparaffine $\leq 1\%$), Einhaltung von Emissionsanforderungen (Prüfsiegel z. B. AgBB-Schema), Giscode-Klassifizierungen, Zertifizierungen (z. B. Emicode) oder die Deklaration von Stoffen (z. B. biozide Wirkstoffe).

Viele Informationen sind in den bereits verwendeten Technischen Merkblättern, Sicherheitsdatenblättern, EPD zu finden. Es gibt Überschneidungen mit anderen Zertifizierungssysteme wie BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen).

Wichtig: Im Rahmen der Einführungsphase des QNG sind nur die Produkte / Erzeugnisse / Stoffe zu bewerten, die Vor-Ort verarbeitet oder eingebaut werden.¹ Folglich müssen Hersteller, deren Hauselemente (z. B. Containerbau, Elementbau) im Werk produziert werden, den Anforderungskatalog nicht erfüllen, aber es kann vom Auditor eine Umwelt- und Arbeitsschutz-Bestätigung für die Produktionsanlagen eingefordert werden.

Die IQUH GmbH prüft seit über 10 Jahren Bauprodukte in Hinblick auf deren Inhaltsstoffe und die Auswirkung auf die Raumluft und das Raumklima. Für Produkt-Hersteller wird zukünftig angeboten, die QNG-Anforderungen geprüft und bestätigt zu bekommen, sodass Haushersteller und Auditoren eine Vereinfachung bei der Produktauswahl erhalten können.

2.1. Produktdatenabfrage

Schon bei der Vorplanung von Gebäuden können Informationen über risikominimierte Bauprodukte mit einem QNG Produkt Pre-Check angewendet werden.

- Schadstoffminimierte Bauprodukte, Wecobis
- Ausschreibung und Vergabe
- Bauausführung und Objektüberwachung: Volldeklaration
- Begehung der Baustelle, Controlling
- Abnahme und Dokumentation

Haben die zum Einsatz kommenden Produkte ein Emissionsprüfzeugnis? Schadstoffprüfungen für Baustoffe in Prüflaboren sind heute gemäß den Anforderungen in den Leistungsverzeichnissen für öffentliche und verwaltungstechnische Gebäude und auch für private Bauvorhaben immer öfter gefordert und werden gemäß den Vorgaben in der DIN EN 16516 durchgeführt. Die Kenntnis der Inhaltsstoffe (Stoffinventare) des gelieferten und eingebauten Produkts ist hilfreich.

2.2. Risikostoffprüfung

Durch REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien) wird die problematische Informationslage im Bauwesen aufgelöst.



Abbildung 3: REACH Informationsplattform

¹ QNG-Anforderungskatalog Anhangdokument 313, 0.2 Anwendungsregeln, 2.

REACH fordert die Informationspflicht nun zumindest für die SVHC (substances of very high concern, besonders besorgniserregende Stoffe) auch für Erzeugnisse ein. Da die Kandidatenstoffliste nur langsam gefüllt wird, kann es aber noch Jahre dauern, bis eine Herstellerantwort bezogen auf die SVHC tatsächlich eine gewisse Garantie im Hinblick auf die Inhalte der Risikostoffe bietet.

Umweltprüfungen wie EPDs können Hinweise zum Feuchteausgleichsverhalten, Umweltgefährdung für Boden/Wasser/Luft/Mensch und Auskunft über die Rohstoffherkunft, Fertigungsverfahren, physikalische Kennwerte geben.

Die Datenermittlung sowie entsprechende Nachweisführung für die Risikopotenziale bestimmter Inhaltsstoffe und die methodische Vorgehensweise im Bauprozess werden im Folgenden betrachtet. Standen bisher Schadstoffe und Risikostoffe vor allem unter dem Aspekt der Belastung der Innenraumluft zur Diskussion, so muss diese Betrachtung heute erweitert werden. Die Kenntnis über Risikostoffabgaben, beginnend bei der Herstellung und endend bei der Entsorgung, wird zunehmend bedeutender. Um sinnvoll, ressourcenschonend und schadstoffminimierend Bauprodukte im Bauprozess bestimmen, ausschreiben und prüfen zu können, müssen wir über juristische Grundlagen und chemische Stoffkenntnisse verfügen. Die Planungsabläufe in Holzbaubetrieben oder Architekturbüros sollten es ermöglichen, belastbare Auswahlkriterien für Baustoffe zu entwickeln, um zielorientiert nachhaltige Bauprodukte auszuwählen, um sie in regelkonformen Konstruktionen einzusetzen. Dadurch sollten zudem die staatlich vorgegebenen Raumluftzielwerte für eine behagliche Raum(klima)luftqualität sicher eingehalten werden. Ganz nebenbei betrachtet können natürliche Baustoffe wie Holz durch ihre vorteilhaften Kapillareigenschaften aktiv den Feuchteausgleich in der Raumluft verbessern und zudem eine schadensfreiere Rücktrocknung garantieren. Eine firmeninterne diesbezügliche Vorprüfung (Pre-Check) der Bauprodukte macht durchaus Sinn. Damit ergänzen Bauschaffende ihre Materialkenntnisse, um sie dann vorteilhaft bei der Auftragsvergabe einsetzen zu können. Solch ein Material-PreCheck von Bauunternehmen oder Planungsbüros ist ein wertvolles Instrumentarium im Marketing und bildet zudem die Grundlage für weitere Qualitätsnachweisverfahren wie LEGEP bzw. für die Zertifizierungsverfahren wie QNG/BNB/ DGNB/Birn/Nawoh. Messungen der Raum(klima)luftqualität sind beim QNG Verfahren nicht vorgeschrieben, sind aber bei der Bauabnahme meist vom AG gefordert als eine Art Monitoring und Erfolgskontrolle und als Nachweis dafür, dass tatsächlich auch die geprüften und zugelassenen Baustoffe im Gebäude eingebaut wurden.

Zur Identifizierung von Risikostoffen für die Umwelt in Bauprodukten können verschiedene Informationsquellen eingesetzt werden. Eine Risikostoffprüfung gemäß QNG liefert Informationen zu Sicherheitsdatenblättern, H- und P-Sätzen (Risiko- und Sicherheitssätze), dem global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS-System), der Kennzeichnung nach REACH und zu den verschiedenen Umweltdeklarationssystemen.

Die WECOBIS Plattform kann helfen zusätzliche produktneutrale Informationen zu erhalten. Sie bietet Informationen zu Umwelt- und Gesundheitsaspekten wichtiger Bauproduktgruppen an. Man muss jedoch beachten, dass Produkte, die zur gleichen Bauproduktgruppe gehören, im Detail unterschiedliche ökologische Kennwerte aufweisen (z. B. VOC-Anteile, Risikostoffe, Rohstoffbasis) können. Neben der Generierung von Datensätzen für das Handlungsinstrument besteht zudem die Möglichkeit, Fachbegriffe aus dem Umfeld des Kriteriums 1.1.6 (BNB-System) im WECOBIS-Lexikon zu erklären und aus dem Handlungsinstrument direkt darauf zu verlinken. Dabei spielt der Kontext des Nachhaltigen Bauens eine wichtige Rolle. Auch für die WECOBIS-Nutzer, die keine Gebäudebewertung vornehmen möchten, könnte die Information über das «Abschneiden» einer Produktgruppe im Kriterium 1.1.6 eine interessante Information darstellen.

2.3. Umweltbelastungsprüfung

Umweltdeklarationen im Sinne des QNG/BNB-Kriteriums mit belastbaren Aussagen sind zu ermitteln oder ersatzweise produktunabhängige Umweltinformationen können herangezogen werden. Umweltprüfungen wie EPDs können Hinweise zur nachhaltigen Forstwirtschaft, zum Feuchteausgleichsverhalten, Umweltgefährdung für Boden/Wasser/Luft/Mensch und Auskunft über die Rohstoffherkunft, Fertigungsverfahren, physikalische Kennwerte geben.

Nachhaltige Materialgewinnung

Anforderungen für: QNG-KN21 / QNG-WN 21

Dem Neubau eines Einfamilienhauses oder Mehrfamilienhauses darf das QNG-Zertifikat zuerkannt werden, wenn

- mindestens 50 % (QNG-PLUS) / 80 % (QNG-PREMIUM) der verbauten Hölzer, Holzprodukte und/oder Holzwerkstoffe nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.

Abbildung 4: QNG Broschüre: Hinweise zur nachhaltigen Forstwirtschaft

2.4. Emissionsprüfung für Bauprodukte

Neben den gesetzlichen Regelungen existieren zahlreiche freiwillige Möglichkeiten, die Herstellung und Verwendung schadstoffhaltiger Bauprodukte zu dokumentieren.

Verbraucherorientierte Zeichen im Baubereich sind beispielsweise natureplus oder der «Blaue Engel». Die Auswahlkriterien werden transparent und nachvollziehbar in den entsprechenden Dokumenten der Gütegemeinschaft formuliert.

Die Konzentration einiger Vergabesysteme auf die Messanalytik und die Aussagen zur Emissionsbelastung berücksichtigen jedoch nicht die Gefahren im Lebenszyklus, die bei Havariefällen (z.B. Brand oder bei Überschwemmungen) entstehen können. Prüfergebnisse im Labor geben Hinweise auf zusätzliche Materialaspekte wie Gefahrstoffe, VOC-Emissionswerte, Geruch.

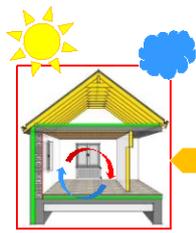
3. Raum(klima)luftmessung

Im Rahmen der QNG-Zertifizierung ist eine VOC Raumluftmessung nicht vorgeschrieben. In öffentlichen Gebäuden wird erfahrungsgemäß immer öfter die Einhaltung der Richtwerte vor Möblierung und Einzug gemäß UBA/AIR VOC Richtwertkatalog (Norm für Raumluftanalysen gem. Normenreihe DIN EN ISO 16000) als qualitätssichernde Maßnahme bei der Bauabnahme gefordert.

Hier empfehlen wir die kostenfreie Vorlage für Werkverträge auf der Seite www.holz-und-raumluft.de zu verwenden. Darin wird beschrieben, wie Bauleiter und Bauunternehmen nicht normgerechte oder messwertverfälschende Gebäude-, Klima- und Messbedingungen vorsorglich vermeiden können. So können unverschuldete Abnahme- und Rechtsprobleme vermieden werden.

Sowohl chemisch produzierte Baustoffe als auch solche aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Holzwerkstoffe, Hanf, Flachs, Zellulose oder Stroh geben natürlicherweise Gerüche, d. h. Ausdünstungen ab, für die es hygienebezogene behördliche Leit- und Richtwerte gibt. Bei Raumluftanalysen, die mit normgerechten Messraumvorbereitungen und unter sensorüberwachten Raumklimabedingungen durchgeführt werden, sind erfahrungsgemäß keine Zielwertüberschreitungen zu erwarten. Anders sieht es aus, wenn Raumluftmessungen beispielsweise bei fehlender Beschattung oder während oder kurz nach der Durchführung von emissionsträchtigen Restarbeiten stattfinden.

Vermeiden Sie vor VOC Messungen



- Klimaextreme (T, rel. LF, CO₂)
 - Sonneneinstrahlung -Photolyse
 - Erhöhte Keller- oder Estrichfeuchtwerte
 - Messung bei Sturm (Fugenentlüftung)
 - Immissionen durch die Umwelt (Lüftung)
 - Lösungs- u. Reinigungsmiteleinsatz
 - Geruchsauffällige Messtechniker
 - Unzureichende Feinstaubreinigung
 - Geringes Ablüften/Sauerstoffmangel
 - Möbel, Baustoffreste, Bodenfolien in Messräumen
- > Messplanung: Koordination mit der Bauleitung vor VOC Messungen!

Abbildung 5: IQUH Raum(klima)luftqualität Messplanung

Deshalb ist vor jeder Raumluftmessung die Prüfung von messwertverfälschenden Klimafaktoren, Gasen und Partikeln im Gebäude mithilfe von Sensor Handgeräten anzuraten.

4. Zusammenfassung und Aussichten

Gemäß unseren Erfahrungen steigen die umwelt- und gesundheitsbezogenen Anforderungen an die Bauprodukte und die Raum(klima)luftqualität seitens der Auftraggeber kontinuierlich. Bei der Beratung größerer Schul- und Wohnbauprojekte fällt auf, dass in Leistungsverzeichnissen die Leistungspositionen für die umweltbezogenen Qualitätsnachweise wie Material- und Risikostoffbewertungen oder Raumluftmessungen textlich unsauber oder unvollständig formuliert wurden oder gar nicht erst als Position auftauchten. Wir empfehlen daher, dass ausschreibende Planer solch wichtige Leistungspositionen korrekt als Position ausschreiben, damit der Aufwand für Umwelt- und Baustoffprüfungen kostenmäßig erfasst und Baukosten nicht verschleiert werden. Ansonsten entstehen Aufwendungen und Zusatzkosten, die ein sorgloser Bieter nicht bepreist und den Wettbewerb dadurch unterbietet. Bauschaffende sollten zukünftig diesen Aufwand auch im Betrieb fest einplanen, um die umweltbezogenen Produkthanfragen auf dem Bestellschein vom Lieferanten anzufordern und zu archivieren. Der Bauunternehmer sollte diese Deklarationspflichten gemäß REACH an seine Lieferanten weitergeben.

Die durch QNG und andere Prüfverfahren vorgegebene Abgabe- und Aufbewahrungspflicht für umweltbezogene Produktinformationen obliegt dem Bauunternehmen und verhindert Bau- und Zeitstress bei der Baustoffzulassung bzw. Werkplanung oder bei der Bauabnahme durch den Auditor oder den Bauleiter. Werden die o.g. Empfehlungen für ein QNG Verfahren eingehalten, dann ist die Erfassung und Kommunikation der Materialökologie durch QNG Verfahren ein Vorteil für Holzgebäude und nachwachsende oder recycelte Baustoffe. Zudem erzielen Bauschaffende durch eine offene Kommunikation über die geprüfte Baustoffauswahl schon bei den ersten Vorbesprechungen eine positive Grundstimmung. Erfahrungsgemäß misst unser Institut bei solchen Bauvorhaben gute Raum(klima)luftwerte und eine merklich verbesserte Wohnbehaglichkeit, was auch durch die Raumnutzer bestätigt wird.

5. Anlagen

5.1. Grundlagen zur VOC Ergebnisbewertung

1. Kommission Innenraumlufthygiene + Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, VOC Richtwerte für die Innenraumluft. Herausgeber: Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes.
2. Holzbau Deutschland/Informationsdienst Holz, Berlin: www.holz-und-raumluft.de

5.2. Literatur, Normen

Rechtliche Grundlagen:

Unter anderen gelten folgende staatlichen umweltbezogene Regulierungen in der EU und in Deutschland für Stoffe, Gemische und Erzeugnisse:

- 1 Europäische Chemikalienverordnung REACH für Rohstoffe,
- 2 Europäische POP-Verordnung für Gefahrstoffe,
- 3 Deutsche Chemikalien-Verbotsverordnung,
- 4 Europäische Biozid-Richtlinie und Biozid-Verordnung,
- 5 Decopaint-Richtlinie für Farben, Lacke,
- 6 Baurecht / Bauproduktrecht für Materialverwendungen,
- 7 Musterbauordnung für Verwendungsgrundlagen,
- 8 DIBt Grundsätze und AgBB Emissionsprüfschema f. Bauprodukte
- 9 Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB) für Materialauswahl und Raumluftqualität,
- 10 Abfallrecht und Kreislaufwirtschaftsgesetz.

Normen:

DIN 1946	DIN 1946-1-6 befasst sich mit dem Anwendungsbereich und jenen Neuerungen der Norm, die ventilatorgestützte Systeme betreffen. DIN 1946-6 «Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/ Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung».
DIN EN 16798 Teil 1	Lüftungs- und Behaglichkeitsnorm (Früher: DIN EN 15251, EN 13779)
EN 16516	Bauprodukteprüfung
EN ISO 7730	Thermische Behaglichkeit
VOB/C ATV DIN 18379-3	Grundlage für die Planung und Auslegung von Lüftungs- und Klimaanlage in Nichtwohngebäuden, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.
DIN EN ISO 16000-1 (2006)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie
DIN EN ISO 16000-2 (2006)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd
DIN ISO 16000-3 (2013)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe – Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie
DIN EN ISO 16000-5 (2007)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige Verbindungen (VOC)
DIN ISO 16000-6 (2012)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FIDE
DIN ISO 16000-8 (2008)	Innenraumluftverunreinigungen – Teil 8: Bestimmung des lokalen Alters der Luft in Gebäuden zur Charakterisierung der Lüftungsbedingungen

QNG-Beispiel eines Gebäudes

Holger König
Ascona GbR
Gröbenzell, Deutschland



QNG-Beispiel eines Gebäudes

1. Anwendung der Ökobilanz in Deutschland

Die Anwendung der Ökobilanz im Gebäudesektor in Deutschland ist eng verknüpft mit der Normenentwicklung der europ. Union (TC 350) und mit der Einführung von Zertifizierungssystemen (BNB, DGNB, NaWoh).

Entwicklung der Nachhaltigkeitsnormen



Abbildung 1-1: Normenentwicklung für Ökobilanzen

Die Normenentwicklung ausgehend von ISO über CEN bis zu DIN dauerte 20 Jahre. Die verschiedenen Zertifizierungssysteme wurden in Deutschland von 2009 bis 2015 eingeführt.

Zertifizierungssysteme in Deutschland- 2006-2009-2015



Copyright LEGEP Software GmbH 85757 Karlsfeld Moosweg 9 www.legep.de info@legep.de

Abbildung 1-2: Zertifizierungssysteme in Deutschland

Die Anwendung eines Zertifizierungssystems auf ein Gebäude ist freiwillig. Es besteht kein Zwang zu einem öffentlich rechtlichen Nachweis. Ein wesentlicher Bestandteil der Zertifizierung ist die Lebenszyklusbetrachtung, die bei den Lebenszykluskosten und bei der Ökobilanz angewendet wird.

Im Zusammenhang mit der Ökobilanz werden drei Zielkonzepte für das Gebäude angesprochen:

- Der Primärenergiebedarf
- Die Wirkung auf die Umwelt
- Die Ressourcenschonung

Der Primärenergiebedarf wird unterteilt in «erneuerbar» und «nicht erneuerbar» die Wirkungsbilanz auf die Umwelt wird mit fünf oder mehr Indikatoren nachgewiesen, der bekannteste Indikator ist das Klimagaspotenzial in kg CO₂-Äquivalenten.

Die Ressourcenschonung wird zurzeit noch durch den Nachweis für Holz aus gesicherter Waldnutzung erbracht. In Zukunft wird es auch hier einen Indikator z.B. kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) geben.

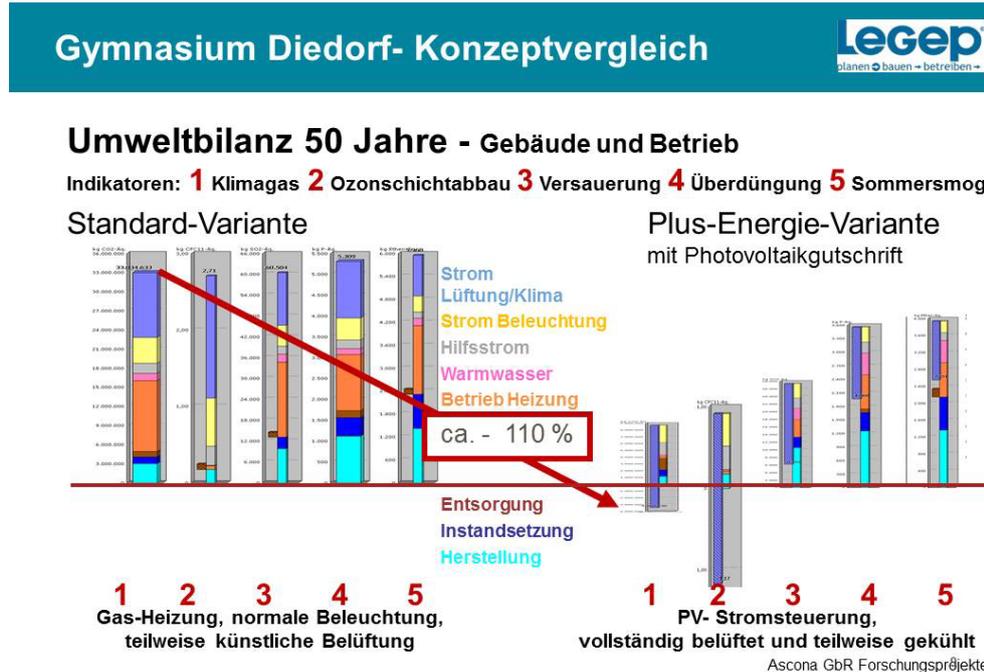


Abbildung 1-3: Beispiel Ökobilanz eines Schulgebäudes

2. Der pflanzliche Kohlenstoffkreislauf

Pflanzen verwandeln durch Photosynthese das Kohlendioxid aus der Luft mithilfe der Energie des Sonnenlichts in Saccharide. Diese Grundsubstanz wird unter anderem in Zellulose umgebaut, eine Aufbaubsubstanz für die Faser- beziehungsweise Holzbildung. Dabei wird der für den Menschen lebensnotwendige Sauerstoff freigesetzt. Da der Kohlenstoff im Holz beziehungsweise in den daraus hergestellten Bauprodukten gebunden ist, wird ein Gebäude aus Holzprodukten auch Kohlenstoffspeicher genannt. Nach Ende der Nutzungsphase kann das Bauprodukt weiter- oder wiederverwendet werden. Bei Nichtverwendung kann das Material problemlos verbrannt (thermisches Recycling) und die dabei entstehende Wärme genutzt werden.

Deshalb weisen nachwachsende Rohstoffe in der Ökobilanz günstige Werte auf. In einer umfassenden Forschungsstudie für das Landesamt für Umwelt wurde dieser Sachverhalt überzeugend dargestellt.

Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden

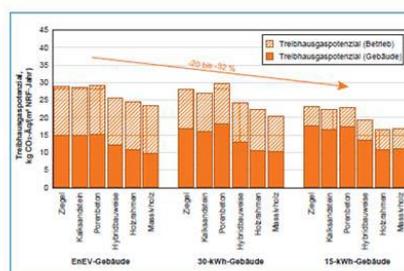


Abb. 11: Treibhausgaspotenzial (Betriebe) vs. Treibhausgaspotenzial (Gebäude)

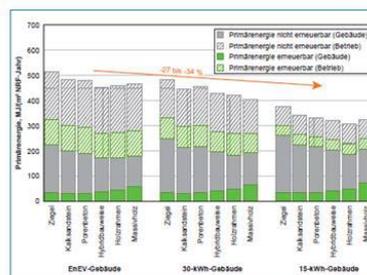


Abb. 12: Primärenergiebedarfswerte (Gebäude + Betriebe) der einzelnen Bauelemente und Energieverbrauch am Beispiel der Luft-Wasser-Wärmepumpe

Ascona GbR Forschungsprojekte

Abbildung 2-1: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden

3. Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude QNG

Nach 12 Jahren Zertifizierung und Prüfung der Ökobilanz als Steuerungsinstrument für Umweltbelastungen wurde deren Anwendung im Juni 2021 in die Bauförderung übernommen. Mit diesem Schritt werden die staatlichen Bemühungen von dem Fokus der energetischen Qualität eines Gebäudes erweitert auf die graue Energie bzw. die grauen Emissionen bei der Errichtung, Instandsetzung und Beseitigung des Gebäudes.

3.1. Die QNG-Regeln

Zur Teilnahme an dem Förderpaket hat der Gesetzgeber einige Anforderungen formuliert, wobei zwischen der Nutzungskategorie «Wohnungsbau» und «Nichtwohnungsbau» Unterschiede bestehen.

Wohnungsbau:

Das Gebäude muss durch ein vom Siegelgeber **registriertes Bewertungssystem zertifiziert sein**. Dies bedeutet, dass das Gebäude die Mindestanforderungen dieser Systeme erfüllen muss. Anerkannt sind im Moment folgende Systeme:

- **DGNB Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen**
- **NaWoh Nachhaltiger Wohnungsbau**
- **BNK Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau.**

Nichtwohnungsbau:

Das Gebäude muss durch ein vom Siegelgeber **registriertes Bewertungssystem zertifiziert sein**. Dies bedeutet, dass das Gebäude die Mindestanforderungen dieser Systeme erfüllen muss. Anerkannt sind im Moment folgende Systeme:

- **DGNB Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen**
- **BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BUND)**

Nach dem Durchlauf durch das gewählte Zertifizierungssystem müssen weitere Anforderungen erfüllt werden.

Wohnungsbau:

Das Qualitätssiegel hat bei vier Kriterien eigene Anforderungen, die erfüllt werden müssen:

- **Ökobilanz**
- **Barrierefreiheit**
- **Schadstoffvermeidung in Baumaterialien**
- **Nachhaltige Materialgewinnung**

Folgende **Regeln** sind zu berücksichtigen:

- Es wird ein **Nutzerstrom mit 20 kWh/m²*a** pro m² beh. Fläche angesetzt.
- Es wird ein **Sockelbetrag** für die Grundinstallation der Haustechnik angesetzt.
- Die **Effizienz der PV-Anlage** wird standortgerecht berücksichtigt. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird berücksichtigt.

Es gilt die Erfüllung der Anforderungen für zwei Bewertungsniveaus nachzuweisen:

- **QNG-Plus**
- **QNG-Premium**

Nichtwohnungsbau:

Das Qualitätssiegel hat bei vier Kriterien eigene Anforderungen, die erfüllt werden müssen:

- **Ökobilanz**
- **Barrierefreiheit**
- **Schadstoffvermeidung in Baumaterialien**
- **Nachhaltige Materialgewinnung**

Folgende **Regeln** sind zu berücksichtigen:

Es gilt das **Referenzmodell des GEG**, aber modifiziert:

- Es wird ein **Nutzerstrom** differenziert nach Nutzungskategorie und der Aufzugsstrom ermittelt
- Es wird ein **Sockelbetrag für die Grundinstallation der Haustechnik** angesetzt.
- Die **Effizienz der PV-Anlage** wird standortgerecht berücksichtigt. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird berücksichtigt.

Es gilt die Erfüllung der Anforderungen für zwei Bewertungsniveaus nachzuweisen:

- **QNG-Plus**
- **QNG-Premium**

Benchmark QNG - Wohnungsbau			Legep® <small>bauen • berechnen • betreiben</small>	
Module		Bezugs- fläche	Niveau I PLUS	Niveau II PREMIUM
			Normal EH 55	Gehoben EH 40 PLUS mit Speicher
Gesamter Lebenszyklus	Primärenergie nicht erneuerbar in kWh/m²*a	NRF	96	64
	Treibhausgaspoten- zial in kg CO₂/m²*a	NRF	28 reduziert auf 24 ab 1.1.2023	20

Asciona GbR Forschungsprojekte

Abbildung 3-1: Benchmark QNG für Wohngebäude

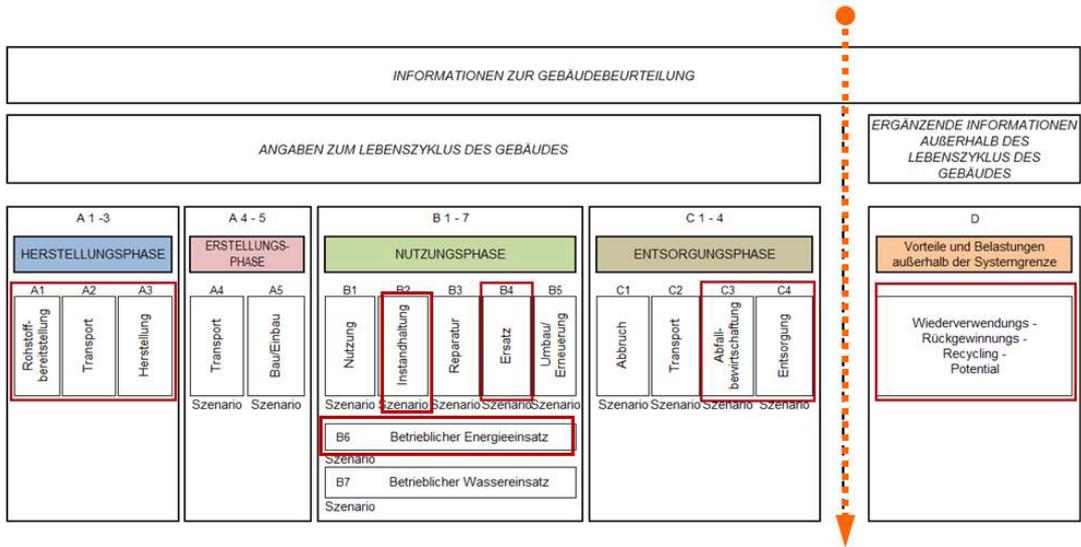
3.2. Vorgehensweise bei der Berechnung

Zur Erstellung der Ökobilanz werden verschiedene Datenbanken und Informationsmittel benötigt:

- Die Datenbank ÖKOBAUDAT
- Die Informationsdatenbank WECOBIS
- Die Tabelle Nutzungsdauern von Bauteilen
- Umweltproduktdeklarationen EPDs vom Institut Bauen und Umwelt

Bisher noch nicht bei den üblichen Baudaten berücksichtigt ist die Lebenszyklusbetrachtung. Diese beinhaltet folgende Module:

Ökobilanz: Lebenszyklusphasen



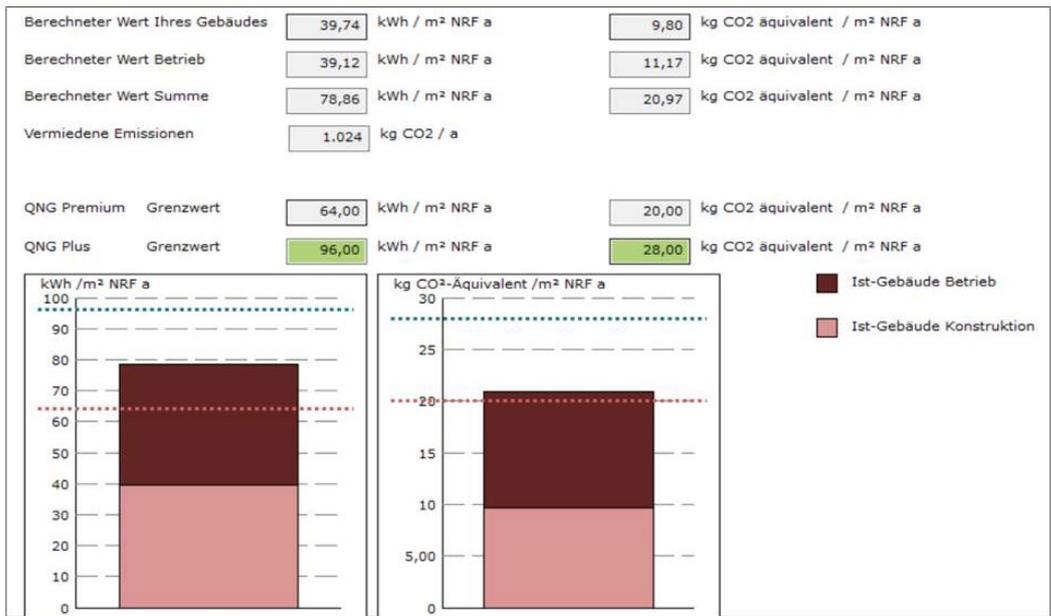
Ascona GbR Forschungsprojekte

Abbildung 3-2: Module des Lebenszyklus von Gebäuden

3.3. Ergebnis der Berechnung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis einer Berechnung für ein Wohngebäude mit zwei Geschosswohnungen. Das Gebäude wurde in der Primärkonstruktion als Massivholzgebäude errichtet, Beheizung über Wärmepumpe. Zusätzlich ist eine mittlere PV-Anlage mit Speicher installiert.

Einfamilienhaus, gehobene Bauweise, KfW 40, nicht gekühlt, WP, mittlere PV-Anlage mit Speicher



Copyright LEGEP Software GmbH 85757 Karlsfeld Moosweg 9 www.legep.de info@legep.de

Abbildung 3-3: Ergebnis QNG-Berechnung

Block B2
Bau: Neue Produkte und Verfahren

Individual Layer Fabrication (ILF) – Ein neues Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen aus Holz

Frauke Bunzel
Fraunhofer-Institut für Holzforschung,
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Braunschweig, Deutschland



Individual Layer Fabrication (ILF) – Ein neues Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen aus Holz

1. Einleitung

Für eine zukunftsfähige, ökonomisch und ökologisch nachhaltige Baubranche werden neue Lösungen hinsichtlich Rohstoffeinsatz, Materialkombinationen und neuen Fertigungsverfahren benötigt. Ein wichtiger Aspekt ist zudem die Automatisierung und Digitalisierung bei gleichem Maß an Individualisierung. Daher werden in der Baubranche mittlerweile bereits additive Fertigungsverfahren zum Bau von Gebäuden eingesetzt, die die Voraussetzungen für ein nachhaltiges Bauen erfüllen. Insbesondere wird Material z.B. durch optimierte Formgebung oder teilgefüllte Strukturen eingespart werden.

Jedoch dominieren bei der additiven Fertigung im Bauwesen die mineralischen Werkstoffe, insbesondere Beton. Additive Fertigungsverfahren für das Bauen mit Holz stehen aktuell nicht zur Verfügung. Zwar wurden bereits einige additive Verfahren für Holzverbundwerkstoffe entwickelt, allerdings wird dabei das Holz in Kombination mit thermoplastischen Kunststoffen eingesetzt und der Holzanteil beträgt maximal 40 %. Aus solchen Werkstoffen hergestellte Produkte sind für tragfähige Strukturen nicht geeignet. Additive Fertigungsverfahren mit sehr geringem Bindemittelanteil und folglich hohem Holzanteil sind bisher nicht verfügbar.

Daher wird im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs «Additive Manufacturing in Construction – AMC» am Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI, Braunschweig, und an der Technischen Universität München (TUM) ein neues Verfahren zur additiven Fertigung mit Holz entwickelt – «Individual Layer Fabrication – ILF».

Die geometrische Freiheit des ILF Verfahrens ermöglicht eine kraftflussgerechte Bauteilgestaltung. Material in nicht lasttragenden Bauteilregionen kann gezielt ausgespart werden (Topologieoptimierung), was zu einer Einsparung von Ressourcen führt. Darüber hinaus kann die gestalterische Freiheit der additiven Fertigung dazu genutzt werden, verschiedene Funktionen in ein Bauteil zu integrieren. Als Beispiele können hier die Integration von Kabelkanälen und Lüftungsrohren oder von zusätzlicher Wärme- und Schalldämmung genannt werden.

2. Individual Layer Fabrication – ILF

ILF kann als eine Kombination der beiden additiven Fertigungsverfahren «Binder Jetting» und «Sheet Lamination» beschrieben werden. Wie bei der Sheet Lamination werden Objekte durch Laminieren dünner, individuell konturierter Einzelschichten (Individual Layer IL) aus festen Materialien aufgebaut. Beim ILF-Verfahren werden diese IL jedoch nicht subtraktiv, sondern additiv durch Binder Jetting hergestellt. Darüber hinaus werden nach dem Klebstoffauftrag und vor dem Laminieren die IL, wie in der Holzwerkstoffindustrie üblich, mechanisch verdichtet. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung der mechanischen Eigenschaften und senkt den Klebstoffgehalt. Im Ergebnis können mit dem ILF-Verfahren individuelle Formen geschaffen, Material eingespart und tragfähige Bauelemente erzeugt werden.

2.1. Verfahrensschritte

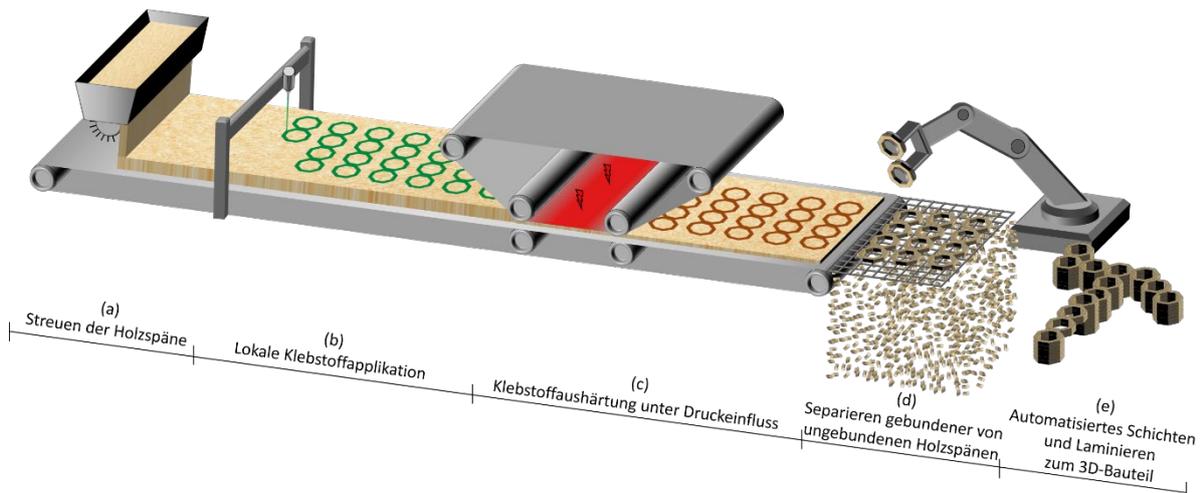


Abbildung 1: ILF-Verfahren unterteilt in die fünf Einzelschritte: Streuung (a), Applikation des Klebstoffs (b), Aushärtung unter Druck und mit erhöhter Temperatur (c), Separierung (d), automatisiertes Schichten und Laminieren (e)

Das IL-Verfahren setzt sich aus fünf Arbeitsschritten zusammen. Zunächst wird eine Schicht aus Holzspänen mit einer definierten Flächenmaße ausgestreut (Abbildung 1, a). Im Gegensatz zur herkömmlichen Spanplattenproduktion werden beim ILF Verfahren jedoch keine mit Klebstoff benetzten Späne ausgestreut, sondern ausschließlich nicht benetzte Späne. Im nächsten Fertigungsschritt wird mit einem Ventilsystem Klebstoff von oben auf die Holzspanschicht appliziert (b). Der Klebstoffauftrag erfolgt lokal nur dort, wo er bauteilgeometrisch benötigt wird. Die Holzspanschicht, bestehend aus mit Klebstoff benetzten und nicht benetzten Spänen, wird mit mechanischem Druck gepresst und der Klebstoff mittels Wärmeintrag zum Aushärten gebracht (c). Nach dem Aushärten werden die nicht gebundenen Holzspäne entfernt (d), wodurch die entsprechend der angestrebten Bauteilgeometrie konturierte 2D-IL freigelegt wird. Diese 2D-IL werden automatisiert aufeinandergeschichtet, miteinander verklebt und bilden so das 3D-Bauteil (e). Die entfernten Holzspäne sind frei von Bindemittel und können somit dem Fertigungsschritt (a) erneut zugeführt werden. Wie bei allen additiven Fertigungsverfahren geht dem physischen Herstellungsprozess ein digitaler Prozess voraus, bei dem, in der Regel durch virtuelles Schneiden eines 3D-CAD-Modells, die Geometrie jeder Einzelschicht generiert wird. Die beschriebene Prozesskette des ILF-Verfahrens stellt lediglich eine Grundvariante dar. Abweichend davon können die Reihenfolge der Arbeitsschritte je nach Bauteil und Anforderungen verändert, der Prozess um weitere Arbeitsschritte ergänzt oder einzelne Schrittfolgen mehrfach wiederholt werden, bevor zum nächsten Prozessschritt weitergegangen wird. So können z. B. das Streuen der Späne und der Klebstoffauftrag vor dem Pressen (Aushärten des Klebstoffes) mehrfach wiederholt werden, sodass eine Einzelschicht des ILF-Verfahrens aus mehreren Lagen des Binder Jettings besteht. Auch kann nach dem Herstellen der 2D-IL ein subtraktiver Arbeitsschritt eingefügt werden, um die Konturgenauigkeit zu erhöhen. Des Weiteren können die ungebundenen Holzspäne nicht schon nach dem Pressen der IL, sondern erst nach dem Laminieren entfernt werden. Sie können dadurch als Stützmaterial beim Laminieren der IL zum finalen 3D-Bauteil dienen. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden bereits verschiedene Demonstratoren hergestellt, um die mögliche Auflösung und Geometriefreiheit des ILF-Verfahrens zu illustrieren (Abbildung 2). [1], [2], [3]



Abbildung 2: Demonstrator Objekt hergestellt mit dem ILF-Verfahren zur Veranschaulichung der geometrischen Freiheit

2.2. Klebstoffe

Neben der Entwicklung und Optimierung der Teilschritte des ILF-Verfahrens erfolgt deren prozesstechnische Kombination und Integration zu einem vollautomatisierten Prozess. Für die Herstellung von konturgenauen IL ist eine kontrollierte Klebstoffapplikation auf die gestreuten Späne notwendig. Aber nicht nur die Applikationstechnik, sondern auch die Verteilung des Klebstoffes auf und in der gestreuten Holzspanschicht wird untersucht. Die Klebstoffe unterscheiden sich in ihrem Eindringverhalten direkt nach der Applikation sowie im Fließverhalten bei Wärme- und mechanischer Druckzuführung beim Heißpressen. Der von oben applizierte Klebstoff muss die Holzspanschicht komplett durchdringen. Dies setzt eine niedrige Viskosität und geringe Oberflächenspannung des Klebstoffes voraus. Hierzu werden zunächst etablierte Klebstoffe aus der konventionellen Holzwerkstoffindustrie untersucht, wie z. B. Harnstoff-Formaldehyd (UF), Melamin-Formaldehyd (MF), Phenol-Formaldehyd (PF) und polymeres Methylen-Diphenyl-Isocyanat (pMDI). Insbesondere bei den wasserbasierten Klebstoffen konnten Tenside zu einer Verbesserung der Verteilung beitragen. Durch das Fließverhalten kann durch den Wärmeeintrag in der Heißpresse der schnellreaktive Klebstoff noch kurzzeitig fließen, bis die Aushärtung eintritt. Dies kann durch vorgeschaltete Pressschritte mit zunächst geringerem Wärmeeintrag gezielt gesteuert werden. Außerdem zeigen IL mit größeren Pressdrücken und damit höheren Rohdichten eine größere Ausbreitung des lokal applizierten Bindemittels, als es bei IL mit geringeren Rohdichten zu beobachten ist. Dies kann auf die Reduktion der Hohlräume zwischen den Holzspänen zurückgeführt werden, was zum Verdrängen des applizierten Klebstoffes führt. Der Klebstoffgehalt in mit dem ILF-Verfahren hergestellten Einzelschichten beträgt zum gegenwärtigen Zeitpunkt je nach Typ etwa 6 bis 12 %, was bisher einmalig im Bereich der additiven Fertigung mit Holz ist. Hierzu trägt insbesondere das im ILF-Prozess integrierte Verdichten bei. Durch den Einsatz von Produktionsholzresten, rezyklierten Altholz oder bisher nur schwer einsetzbarem Schadholz kann die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit weiter gesteigert werden. Zudem sind Bindemittel auf Stärke- oder Proteinbasis ebenfalls eine Option, welche in naher Zukunft untersucht werden sollen. Die Wiederverwertung der Inhaltsstoffe nach dem Bauteillebensende wird von Anfang an berücksichtigt, um einer zukunftsorientierten Kreislaufwirtschaft gerecht zu werden.

3. Möglichkeiten

3.1. Wirtschaftlichkeit

Das ILF-Verfahren bietet das Potenzial, die Individualität eines additiven Fertigungsverfahrens mit der Produktivität und Wirtschaftlichkeit einzelner Prozessschritte der Großserienproduktion von z. B. Spanplatten zu kombinieren. Das Streuen der Späne und Heißpressen kann mit bekannter Technik der konventionellen Holzwerkstoffindustrie erfolgen. Die Klebstoffapplikation erfolgt in diesem Fall nach dem Streuen der Späne und erzeugt durch das lokale Auftragen die bauteilcharakteristische 2D-IL. Anschließend bedarf es noch eines Stapel- und Laminierprozesses der 2D-IL. Die technische Überführung des ILF-Verfahrens vom Labor- in den Großserienmaßstab wird dadurch erleichtert, dass die Prozessstufen Streuen und Pressen aus der konventionellen Holzwerkstoffindustrie übernommen werden können. Diese werden ergänzt durch die spezifischen ILF-Prozessschritte der Klebstoffapplikation sowie des Stapelns und Laminierens. Die Kombination dieser Einzelschritte kann in Fließfertigung erfolgen, was zur Wirtschaftlichkeit des ILF-Verfahrens beiträgt. Die Geschwindigkeit des ILF-Verfahrens hängt von der Geschwindigkeit der Einzelschritte ab. Aktuell ist der begrenzende Verfahrensschritt der Klebstoffauftrag. Dieser wird in den gegenwärtigen Versuchen noch mittels einer von einem CNC-Portal geführten Einzeldüse mit einer Fahrgeschwindigkeit von 300 mm/s realisiert. Höhere Geschwindigkeiten sind nicht ausgeschlossen, werden jedoch durch die angestrebte Auflösung bzw. Konturgenauigkeit begrenzt. Eine signifikante Steigerung der Produktivität lässt sich durch den Einsatz von Düsenarrays mit einer großen Anzahl von simultan geschalteten Düsen erreichen. Der Verfahrensschritt des Aushärtens und Verdichtens der IL kann mit einer kontinuierlich arbeitenden Presse realisiert werden, sodass Produktionsgeschwindigkeiten vergleichbar mit denen in der Holzwerkstoffindustrie z. B. in der Spanplattenproduktion erreicht werden können.

3.2. Bauteileigenschaften

Die Herstellung von IL ermöglicht eine Variation der Zusammensetzung von z. B. Spanart und Klebstoff und damit eine gezielte Steuerung von beispielsweise Dichte und Festigkeit. Das Stapeln und Laminieren von Einzelschichten unterschiedlicher Zusammensetzung zu einem Mehrschichtaufbau bietet die Möglichkeit, z. B. biegebeanspruchte Bauteile belastungsgerecht zu gestalten. IL mit höherem Klebstoffgehalt und größerer Dichte erzeugen die benötigte Biegefestigkeit und -steifigkeit in den Decklagen. IL mit reduziertem Klebstoffgehalt und geringerer Dichte tragen zur Ressourcenschonung bei, indem sie in den geringer belasteten, inneren Bereichen eingesetzt werden. Festigkeiten und -steifigkeiten der mit dem ILF-Verfahren hergestellten Bauteile ergeben sich durch das Zusammenspiel von Materialeigenschaften und Bauteilgeometrie. Letztere kann dank der dem Verfahren innewohnenden Formfreiheit lastpfadgerecht ausgelegt werden. Die Forschenden arbeiten aktuell an den Grundlagen der Fertigungstechnologie. Erste IL wurden bereits mit unterschiedlichen Verfahrensparametern sowie Materialzusammensetzungen additiv gefertigt und auf mechanische Eigenschaften hin geprüft. Die mechanischen Eigenschaften einer IL hängen wie bei den klassischen Holzwerkstoffen maßgeblich von den typischen Faktoren wie z. B. Rohdichte, Dichtequerschnittsprofil, Holzspanfraktion, Klebstoffgehalt und Spanfeuchten ab. Schon nach den ersten Versuchen lässt sich feststellen, dass die hergestellten Einzelschichten den Anforderungen an DIN EN 312, Typ P7 bzgl. Biege- und Querkzugbelastung entsprechen. [4], [5]

3.3. Bauteildimensionen

Die Einzelschicht lässt sich grundsätzlich mit konventionellen Holzwerkstoffmaschinen in einer üblichen und standardisierten Breite verdichten, während dort unter Wärmezufuhr der lokal applizierte Klebstoff aushärtet. Mit einer kontinuierlich arbeitenden Presse wäre die Länge praktisch endlos. Um die Bauteildimension in der Ebene zu vergrößern, ist es zudem denkbar, dass in einer Ebene mehrere einzeln durch Binder Jetting hergestellte IL-Elemente zusammengesetzt werden. Durch entsprechende automatisierte Hebe- und Handlingwerkzeuge können große IL mit geringer Formsteifigkeit unterstützt gehandhabt werden. Die Formstabilität bzw. -steifigkeit der gepressten IL ergibt sich u. a. durch die

Dichte, Dicke und Spangröße. Die Herausforderung der IL-Dicke liegt wiederum in der limitierten Klebstoffeindringtiefe. Der von oben applizierte Klebstoff auf die gestreute Holzspanschicht dringt hierbei nicht endlos tief ein. Auch hier sind noch nicht alle Grenzen ausgelotet. Die Forschenden limitieren im laufenden Projekt die verdichtete IL-Dicke jedoch zunächst auf maximal 10 mm, um den Fokus zunächst auf die grundsätzliche Machbarkeit des ILF-Verfahrens zu behalten. Zudem sinkt mit zunehmender IL-Dicke auch die Auflösung, was die geometrische Freiheit begrenzt.

4. Weiterführende Informationen

Weiterführende Informationen zum Projekt unter amc-trr277.de/projects/project-area-a/focus-area-project-a08 oder www.mdpi.com/2073-4360/13/19/3423

Co-Autoren: Carsten Aßhoff (Fraunhofer WKI), Birger Buschmann (TUM), Klaudius Henke (TUM), Daniel Talke (TUM), Bettina Saile (TUM), Braunschweig/München

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 414265976-TRR 277.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

5. Literatur

- [1] K. Henke, D. Talke, F. Bunzel, B. Buschmann, and C. Asshoff (2021): Individual Layer Fabrication (ILF) – A Novel Approach to Additive Manufacturing by the Use of Wood. In: *European Journal of Wood and Wood Products*. Berlin, Heidelberg: Springer
- [2] K. Henke, D. Talke and B. Buschmann (2021): Einsatz von Holz bei der additiven Fertigung im Bauwesen. In: *Proceedings of the 17th Rapid.Tech 3D Conference Erfurt, Germany, 22-23 June 2021*, M. Kynast, Ed., München: Hanser, Carl, 2021, pp. 177–187.
- [3] K. Henke, D. Talke, F. Bunzel, B. Buschmann und C. Asshoff (2021): Individual layer fabrication (ILF): a novel approach to additive manufacturing by the use of wood. In: *Eur. J. Wood Prod.*
- [4] B. Buschmann, K. Henke, D. Talke, B. Saile, C. Asshoff und F. Bunzel (2021): Additive Manufacturing of Wood Composite Panels for Individual Layer Fabrication (ILF). In: *Polymers*.
- [5] C. Asshoff, B. Frauke, B. Buschmann, D. Talke, B. Saile, K. Henke (2022): Individual Layer Fabrication (ILF) – Additive Fertigung durch selektives Binden von Holzspänen zu Einzelschichten. In: *Holztechnologie*

Schließung von ressourceneffizienten Produktkreisläufen durch neue Geschäftsmodelle – RessProKA

Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme
FH-Münster/IWARU
Münster, Deutschland



Schließung von ressourceneffizienten Produktkreisläufen durch neue Geschäftsmodelle – RessProKA

1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Der Bausektor hat, im Hinblick auf eine effiziente Ressourcennutzung, eine sehr große Bedeutung. Allein in Deutschland werden jährlich ca. 590 Millionen Mg mineralische Naturstoffe abgebaut und zur Herstellung von neuen Baustoffen verwendet [1]. Der damit verbundene Landverbrauch liegt bei etwa 4 ha/d (= 14 Mio. m²/a). Zudem stammen 40 % der Treibhausgase [2] sowie 55 % des Abfallaufkommens [3] aus diesem Bereich.

Das Ausbaugewerbe ist hierbei hinsichtlich des Bauvolumens mit rd. 150 Milliarden Euro, der Zahl der Beschäftigten (rd. 60 % der Beschäftigten im Baugewerbe) und der Anzahl der Betriebe (rd. 77 % der Betriebe im Baugewerbe) der bedeutsamste Sektor in der deutschen Bauwirtschaft [4].

Auch wenn die im Bausektor eingesetzten Produkte im Regelfall auf vergleichsweise lange Lebenszeiten (> 30 Jahre) ausgelegt werden, sind in der Realität, insbesondere im gewerblichen Bereich, deutlich kürzere Austauschzyklen üblich (< 10 Jahre). Dies ergibt sich durch Nutzerwechsel oder veränderte Bedürfnisse der Nutzer, z. B. auf Grund von gestalterischen Aspekten, technischen Modernisierungen oder geänderten Raumnutzungskonzepten. Ziel des vom BMBF geförderten Projektes «RessProKA» war die Schließung von Kreisläufen für Bauprodukte, die im Innenausbau eingesetzt werden und bei denen die Hersteller, u. a. mittels geeigneter Geschäftsmodelle, die «Produktverantwortung» über den gesamten Lebenszyklus für ihre Bauprodukte übernehmen. Voraussetzung für ein funktionsfähiges, ressourceneffizientes Geschäftsmodell ist das Zusammenspiel aus technischem Kreislauf (Produktdesign, Produktion, Einbau, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau, Verwertungsoptionen) in einem unterstützenden rechtlichen sowie kaufmännischen Rahmen. Die Verantwortung für die Rückführung nach Gebrauch und die Refabrikation trägt dabei der Hersteller. In «RessProKA» wurde ein systemischer Ansatz, der konzeptionell und instrumentell eine Übertragung der entwickelten Modelle auf andere Bauprodukte ermöglichen soll, verfolgt.

Projektpartner in der aktiven Bearbeitung waren das betriebswirtschaftliche Institut für Abfall und Umweltstudien (BIFAS) aus Jena, die Lindner Group aus Arnstorf sowie das Institut für Infrastruktur, Wasser, Ressourcen und Umwelt (IWARU) der FH Münster.

Ziele des Projekts waren:

- Betrachtung des Innenraumes als Einheit
- Erarbeitung neuer, kreislaufgerechter Geschäftsmodelle
- Validierung der vorläufigen Ergebnisse durch Planspiele mit potenziellen Kunden
- Entwicklung eines systemischen Ansatzes
- Transfer auf andere Produkte und Bereiche

2. Vorgehensweise und Ergebnisse

Die zu Beginn des Projektes aufgestellte Projektstruktur (vgl. Abbildung 1) bildete für das Projektteam die Agenda innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit

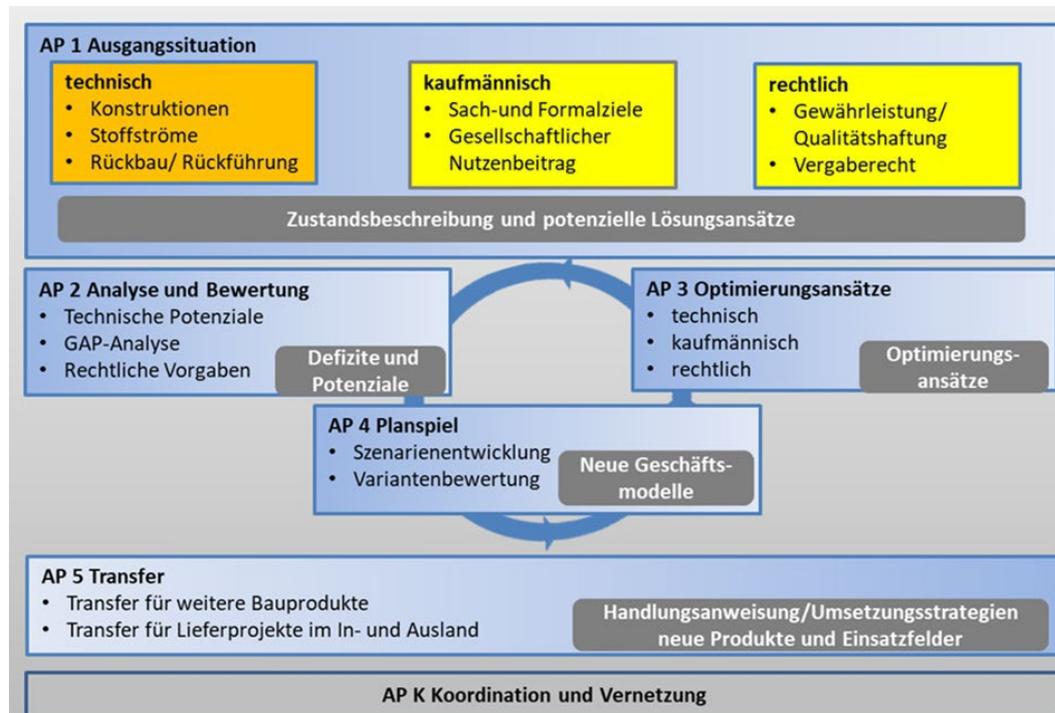


Abbildung 1: Arbeitspakete des Projektes RessProKA

In einer umfangreichen Zustandsbeschreibung (AP 1) wurden die verschiedenen Handlungsebenen (technisch, kaufmännisch, rechtlich) für ausgewählte Produkte aus dem Baubereich erarbeitet und durch innovative Technologien und Verfahren aus anderen Wirtschaftszweigen ergänzt. Die Grundelemente neuer Geschäftsmodelle wurden durch die Analyse und Bewertung (AP 2) u. a. der technischen Potenziale und einer Gap-Analyse sowie darauf basierender Optimierungsansätze (AP 3) aufgestellt. Im zentralen Planspiel (AP 4) wurden die entwickelten Bestandteile des Geschäftsmodells realen Kunden aus der Immobilienbranche in Form von simulierten Verkaufsgesprächen präsentiert. Die dabei erzielten Ergebnisse wurden wieder in die Modellentwicklung einbezogen. Durch den ausgewählten systemischen Ansatz kann der Transfer (AP 5) auf andere Bauprodukte und Branchen gewährleistet werden.

Das entwickelte Geschäftsmodell gliedert sich in mehrere Varianten.

Das Grundmodell sieht ein obligatorisches **Rückgaberecht** der 1st-Use-Produkte zu einem bestimmten Zeitpunkt vor. Weitere Varianten und Bausteine des neu entwickelten Geschäftsmodells sind:

- **Rückgabepflicht** in einem vorgegebenen Zeitfenster (vor und nach Ende der Grundnutzungszeit)
- **Nutzungs- bzw. Mietverlängerungsoption** nach Ende der Grundnutzungszeit um eine bestimmte Zeitspanne
- **Kündigung während der Grundnutzungszeit**, aber Erfüllung der Rückgabepflicht (Teilstornierung)
- **Kündigung nach Ende der Grundnutzungszeit** und Stornierung der Rückgabepflicht (Komplett-Stornierung)
- **Erwerb von 2nd – Use Produkten** mit unterschiedlichen Stufen der Aufbereitung

Zur Ermittlung der ökonomischen Tragfähigkeit der Geschäftsmodelle wurden unter Einbeziehung aktueller Kosten sowie Kostenprognosen entlang der spezifischen Wertschöpfungskette die Kosten verschiedener Modellprojekte simuliert. Dabei wurde auch die Kostenentwicklung mittels Szenarioanalyse über einen längeren Zeitraum extrapoliert.

Im Ergebnis ist das neue Geschäftsmodell am Beispiel des NORTEC-Doppelbodens der Fa. Lindner unter Einpreisen sämtlicher Kosten auf dem Lebenszyklus bereits heute preislich konkurrenzfähig (vgl. Geschäftsmodellvariante Loop; Abbildung 2). Dabei wurden noch keine Skalen- und Lernkurveneffekte berücksichtigt, die bei einer umfänglichen Marktetablierung des Modells zu erwarten sind. Außerdem wurden noch keine sich für das Status-Quo-Modell bereits heute abzeichnenden Kostensteigerungen (Energie-, Entsorgungskosten etc.) angesetzt.

Die **ökologische Bewertung** der Geschäftsmodelle hat durch die Ergebnisse aus den Planspielen ein deutlich größeres Gewicht, als zu Projektbeginn angenommen, erhalten. Die aktuelle politische Diskussion, einerseits hinsichtlich der EU-Taxonomie und andererseits zu den für die Immobilienwirtschaft relevanten ESG-Kriterien, hat die ökologischen Auswirkungen weiter in den Fokus gerückt.

Um die entwickelten Geschäftsmodelle untereinander und mit dem Status Quo vergleichen zu können, wurden diese in verschiedenen Szenarien hinsichtlich ihrer CO₂ – Einsparpotenziale sowie des Ressourcenverbrauchs untersucht. Dabei wurden in den Szenarien u. a. die direkte Wiederverwendung und das Recycling im eigenen Unternehmen berücksichtigt. Das Ergebnis dieser Szenarioanalyse zeigt in den untersuchten Geschäftsmodellvarianten deutliche Einsparpotenziale sowohl bei der Bilanzierung des CO₂ – Aufwandes, als auch bei der einzusetzenden Rohstoffmenge (vgl. Abbildung 2). Die deutlichsten Einsparpotenziale sind bei der direkten Wiederverwendung zu erreichen, die auch in den Planspielen favorisiert wurde.

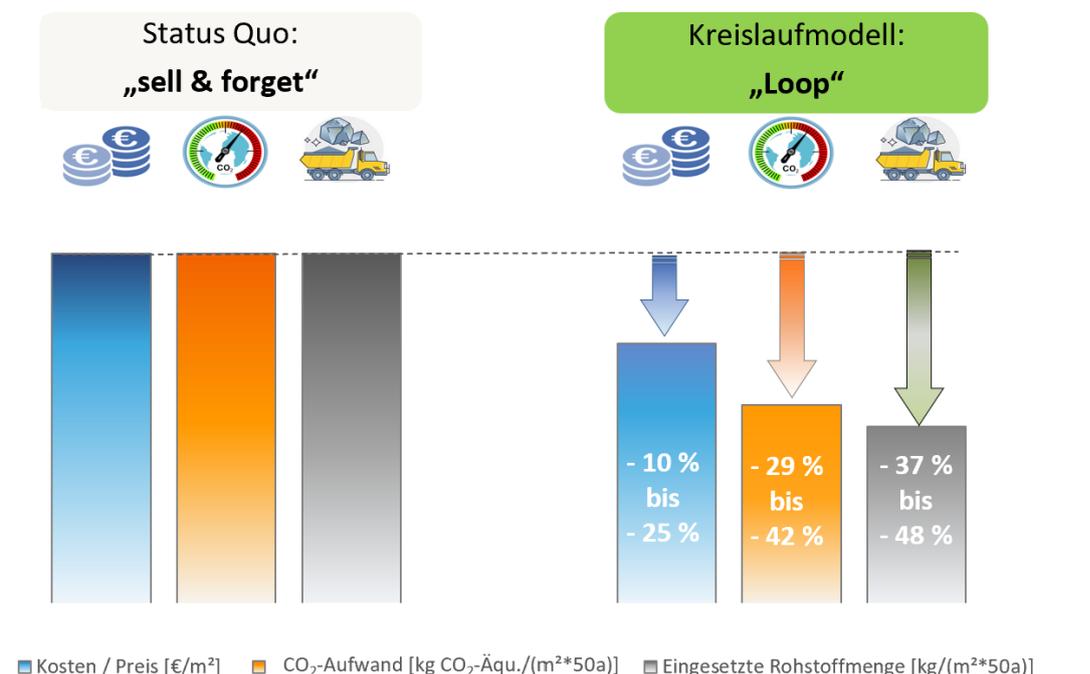


Abbildung 2: Einsparpotenziale bei den Geschäftsmodellvarianten im Rahmen des Angebots «Loop» für den Doppelboden der Fa. Lindner

3. Umsetzung und Transfer

Im Laufe des Projektes wurde durch Ergänzung weiterer Produkte aus den Bereichen Wand und Decke das Ziel verfolgt, einen kompletten Raum innerhalb eines Geschäftsmodells abzubilden und damit der auch im Planspiel herausgearbeiteten Kundennachfrage nach Lösungen aus einer Hand zu begegnen.

Erklärtes Ziel des Projektes war es, ein systemisches Vorgehen zu entwickeln, welches neben der Anwendung für Produkte des Innenausbau gewerblicher Büroimmobilien auch

auf andere Produkte und Branchen übertragbar ist. Vielversprechende Möglichkeiten sind insbesondere bei Herstellern modularer Bauteile zu erwarten. Weitere Überlegungen wurden auch für Türen und Fassadenelemente angestellt. Durch die gesteigerte Nachfrage nach nachhaltigen Produkten rückt der Werkstoff Holz in den Fokus. Hier bietet sich die Chance, einen ökologisch vorteilhaften Grundwerkstoff mit ökonomisch interessanten Geschäftsmodellen zu kombinieren.

Im Endergebnis ist die Vorgehensweise zur Geschäftsmodellentwicklung produkt- und branchenunabhängig durchführbar. Die aktuelle gesellschaftliche und politische Situation unterstützt die Marktchancen kreislauffördernder Geschäftsmodelle und bietet ein gutes Fundament für weitergehende Entwicklungen in unterschiedlichsten Bereichen der Bauwirtschaft.

4. Literaturverzeichnis

- [1] **Statistisches Bundesamt (2019):** Umweltökonomische Gesamtrechnungen, Materialflüsse in Millionen Tonnen, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Tabellen/material-energiefluesse.html> letzter Zugriff: 10.11.22
- [2] **Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (2020):** Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland, Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds «Errichtung und Nutzung von Hochbauten» auf Klima und Umwelt, BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020, Seite 17, https://www.bbsr.bund.de/SiteGlobals/Forms/Suche/VeroeffentlichungsSuche_Formular.html letzter Zugriff: 10.11.2022
- [3] **Statistisches Bundesamt (2020):** Abfallwirtschaft, Kurzübersicht Abfallbilanz <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/liste-abfallbilanz-kurzuebersicht.html>, letzter Zugriff: 10.11.22
- [4] **Gornig, M.; Michelsen, C.; Révész, H. (2021):** Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe, Berechnungen für das Jahr 2020, BBSR-Online-Publikation 32/2021, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-32-2021-dl.pdf;jsessionid=D6ADD457095E1254CAD67F1253437E22.live21303?_blob=publicationFile&v=3, letzter Zugriff 19.01.2023

Funktionelle holzbasierte Materialien für das Bauwesen

Ingo Burgert
Institut für Baustoffe/ETH Zürich
WoodTec-Group/Empa
Zürich, Schweiz



Funktionelle holzbasierte Materialien für das Bauwesen

1. Einleitung

Holz als nachwachsende und CO₂-speichernde Ressource wird mit Blick auf den Klimawandel und einer zunehmenden Verknappung endlicher Ressourcen weiter an Bedeutung gewinnen und kann eine massgebliche Rolle beim Transformationsprozess zu einer Bioökonomie einnehmen. Der Bausektor ist hierbei von zentraler Bedeutung, da die Errichtung und der Betrieb von Gebäuden einen Anteil von 35% am globalen Energieverbrauch und einen Anteil von 38% an den globalen Emissionen haben (Zahlen für 2019) [1]. Daher ist es dringend notwendig, den Bausektor von einem bedeutenden Verursacher von Emissionen zu einem klimaneutralen Sektor zu wandeln oder idealer Weise mit dem Gebäudebestand eine zusätzliche Kohlenstoffsенke zu generieren [2]. Folgerichtig gibt es derzeit eine sehr dynamische Entwicklung im Holzbau, welche insbesondere durch die weltweite Errichtung von Hochhäusern grosse Aufmerksamkeit erfährt [3]. Langlebige Holzgebäude sind ein wichtiger Ansatz, um langfristig CO₂ zu binden, allerdings ergeben sich aus einer deutlich zu steigenden Holzverwendung auch grundsätzliche Fragen, beispielweise hinsichtlich des Zeithorizonts und der Ressourcenverfügbarkeit [4]. Voraussetzung ist, dass eine intensivere Nutzung der Ressource Holz im Einklang mit dem dauerhaften Erhalt gesunder Wälder und der Biodiversität unter sich schnell ändernden Klimabedingungen steht [5].

Neben der Errichtung von Gebäuden nimmt aber auch deren Betrieb eine Schlüsselrolle ein. Auch in diesem Bereich hat Holz viel Potential, in dem es durch Modifikation und Funktionalisierung nicht nur als passive Bausubstanz fungieren, sondern auch als «intelligentes Material» gedacht werden kann. In diesem Zusammenhang haben funktionelle holzbasierte Materialien in den vergangenen Jahren grosses wissenschaftliches Interesse hervorgerufen [6-10]. Holz hat den grossen Vorteil, dass es hohe Festigkeit und Steifigkeit mit einer hohen gerichteten Porosität in einer hierarchischen Struktur vereint. Dies geht auf die Optimierung der zentralen Funktionen des Holzes im lebenden Baum zurück. Mechanische Stabilität und effizienter Wassertransport im Holz ermöglichen es Bäumen in Höhen von über 100 m zu wachsen. Für die Festigungsfunktion wird ein starkes Biomaterial benötigt, was durch den natürlichen Faserverbund in den Zellwänden, bestehend aus Zellulosefibrillen, Hemizellulosen und Lignin übernommen wird. Hingegen erfordert der effiziente Wassertransport eine gerichtete Porosität im Holz, welches durch die leeren Zelllumina als Transportwege für das Wasser garantiert wird [11,12]. In diesem Sinne ist die Struktur des Holzes Ergebnis eines evolutiven Prozesses, welcher einen Kompromiss zweier divergierender Zielfunktionen darstellt. Diese Struktur ist die fundamentale Grundlage zur Nutzung des Holzes als funktionelles Material. Die hohe und gerichtete Porosität ermöglicht es, verschiedene Substanzen im Holz zu etablieren, und so hierarchische Hybrid-Materialien mit zusätzlichen Funktionen zu entwickeln, bei gleichzeitiger Gewährleistung der nötigen mechanischen Stabilität.

2. Eingebettete Funktionalität

Die eingangs skizzierte Holzstruktur ermöglicht, eine spezifische Funktionalität im holzbasierten Material einzubetten. Biologische Vorbilder, die dieses Prinzip gut illustrieren sind beispielsweise Spinnen, die an Ihren Beinen, Vibrations- und Dehnungssensoren haben [13]. Somit kann das Material selbst zum Sensor und Aktuator werden und dadurch «autonom» reagieren [14]. Übertragen auf funktionelle Holzmaterialien ergibt sich daraus eine sehr gute Anschlussfähigkeit an Smart Building Konzepte. In diesem Fall bedarf es keiner Regelkreisläufe mit Kontrolle und Anpassungen des Ist-Wertes, sondern das holzbasierte Material reagiert selbstständig beispielsweise auf Änderungen der Luftfeuchte oder Temperatur. Mögliche Anwendungsfelder sind die Kontrolle des Innenraumklimas oder der Lichtsteuerung verbunden mit Sensorik und Energieeinsparung oder auch die Energiegewinnung.

Prominentes Beispiel für die Entwicklung funktioneller Holzmaterialien ist transparentes Holz, welches durch eine (teilweise) Delignifizierung und das Einbetten eines Polymers mit einem Brechungsindex, der annähernd dem der Zellulose entspricht, hergestellt [15-16] und mit zusätzlicher Funktionalität versehen, für die Lichtsteuerung genutzt werden kann [17]. Ein weiteres intensives Forschungsfeld in diesem Bereich ist die Funktionalisierung von Holz mit dem Ziel, Fussböden aus Holz mit Sensorik oder Möglichkeiten zur Energiegewinnung auszustatten. Hierzu werden Ansätze verfolgt, um durch gezielte Modifikation den piezoelektrischen Effekt im Holz zu verstärken oder Holzoberflächen so zu funktionalisieren, dass triboelektrische Eigenschaften genutzt werden können [18,19].

Holz könnte aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften auch umfangreicher und gezielter zur Regulierung des Innenklimas von Gebäuden genutzt werden. Dafür bedarf es allerdings Funktionalisierungsansätzen, um die Abgabe und Aufnahme von Feuchtigkeit zu beschleunigen und zu vergrößern. Ding et al. konnten kürzlich zeigen, dass mit einem CO₂ Laser eine zusätzliche Porigkeit im Holz senkrecht zur Faserrichtung geschaffen werden kann, die den Austausch mit der Umgebungsluft beeinflusst [20]. Eine zusätzliche Behandlung mit einem hygroskopischen Salz kann zusätzlich die Feuchtaufnahme erhöhen. Gleichsam wie bei einer Funktionalisierung von Holz mit Phase Change Materials könnte auf diese Weise das Holz auch für eine Pufferung von Temperaturspitzen und damit zur Energieeinsparung genutzt werden, da die Aufnahme oder Abgabe von Feuchtigkeit mit einer Temperaturänderung verbunden ist.

Für eine effiziente Kombination mit Smart Home Applikationen ist es sinnvoll und zielführend, Holz mit elektrischer Leitfähigkeit auszustatten. Allerdings können aufgrund der Holzstruktur durch das Einbringen beispielsweise von leitfähigen Polymeren keine besonders hohen Leitfähigkeiten erzielt werden. Ein alternativer Ansatz ist eine Graphitisierung der Holzoberfläche. Da das ungeschützte Holz bei diesem Funktionalisierungsprozess leicht in Brand geraten kann, wurden in der Vergangenheit Brandschutzmittel verwendet oder es bedurfte einer Schutzgasatmosphäre oder des Einsatzes von gepulsten Lasern [21]. Kürzlich konnten Dreimol et al. zeigen, dass der Graphitisierungsprozess deutlich vereinfacht und effizienter gestaltet werden kann, wenn das Holz zunächst in einem Vorbehandlungsschritt mit einer umweltfreundlichen Eisen-Tannin-Tinte bestrichen wird. Dieses ermöglicht den Einsatz eines vergleichsweise einfachen CO₂-Lasers bei normaler Atmosphäre. Mit diesem skalierbaren Prozess können sehr gute elektrische Leitfähigkeiten von Holzelementen erzielt werden [22]. Abbildung 1 illustriert das generelle Vorgehen.

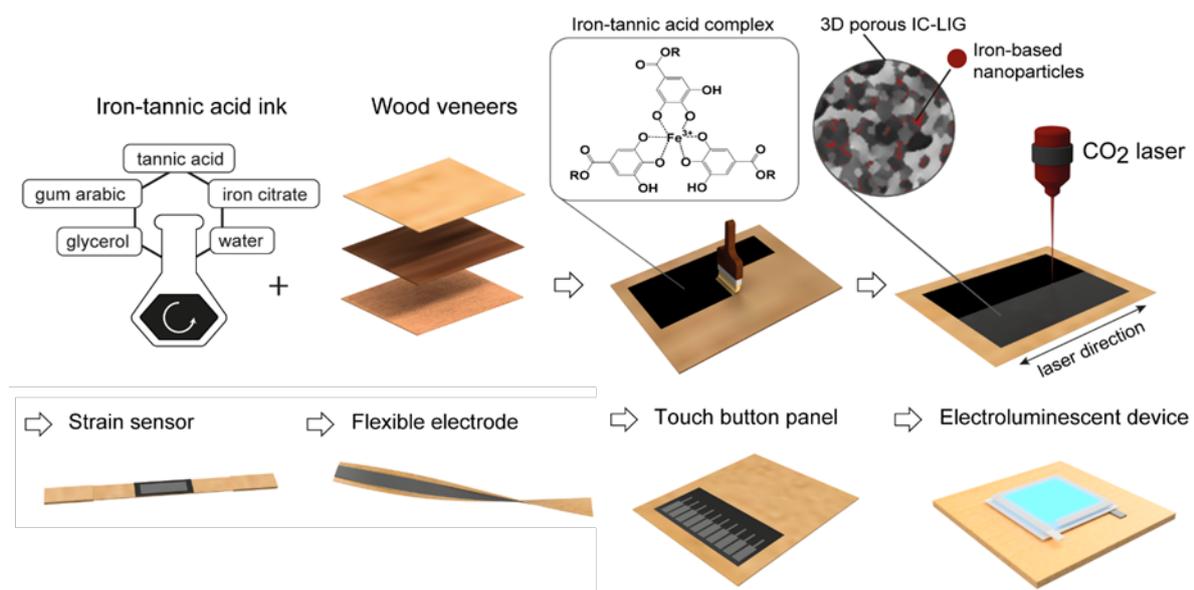


Abbildung 1: Illustration der laser-induzierten Graphitisierung von Holz nach einer Vorbehandlung durch das Auftragen einer Eisen-Tannin-Tinte. Copyright 2022, Springer [22], lizenziert unter CC BY 4.0

Die vorgestellten Ansätze zeigen exemplarisch das Potential der Entwicklung und Anwendung von funktionellen holzbasierten Materialien. Zurzeit sind die Arbeiten in diesem Forschungsfeld im Wesentlichen noch auf der Laborebene verortet. Der Einsatz von grüner Chemie zur Funktionalisierung und die Konzentration auf skalierbare Prozesstechnologien sollten aber eine zukünftige Nutzung derartiger Innovationen ermöglichen, um auf eine sehr effiziente Weise den Betrieb von Gebäuden klimafreundlicher zu machen und gleichzeitig mit der Ressource Holz den Wohnkomfort zu erhöhen.

3. Literaturverzeichnis

- [1] Hamilton I, Rapf O (2020) 2020 Global status report for buildings and construction – Executive summary. United Nations
- [2] Churkina G, Organschi A, Reyer CPO, Ruff A, Vinke K, Liu Z, Reck BK, Graedel TE, Schellnhuber HJ (2020) Buildings as a global carbon sink. *Nat. Sustain.* 3: 269–276.
- [3] Svatos-Raznjevic H, Orozco L, Menges A (2022) Advanced timber construction industry: a review of 350 multi-storey timber projects from 2000–2021. *Buildings* 12: 1–42.
- [4] Pomponi F, Hart J, Arehart JH, D'Amico B (2022) Buildings as a global carbon sink? A reality check on feasibility limits. *One Earth* 3: 157–161.
- [5] Schubert M, Panzarasa G, Burgert I (2022) Sustainability in wood products: a new perspective for handling natural diversity. *Chem. Rev.*: doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00360
- [6] Berglund LA, Burgert I (2018) Bioinspired wood nanotechnology for functional materials. *Adv. Mater.* 30: 1704285. doi: 10.1002/adma.201704285.
- [7] Burgert I, Cabane E, Zollfrank C, Berglund L (2015) Bio-inspired functional wood-based materials–hybrids and replicates. *Int. Mater. Rev.* 60: 431–450. doi: 10.1179/1743280415y.0000000009.
- [8] Chen C, Kuang Y, Zhu S, Burgert I, Keplinger T, Gong A, Li T, Berglund L, Eichhorn SJ, Hu L (2020) Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. *Nat. Rev. Mater.* 5: 642–666.
- [9] Zhu H, Luo W, Ciesielski PN, Fang Z, Zhu JY, Henriksson G, Himmel ME, Hu L (2016). Wood-derived materials for green electronics, biological devices, and energy applications. *Chem. Rev.* 116: 9305–9374.
- [10] Panzarasa G, Burgert I (2022) Designing functional wood materials for novel engineering applications. *Holzforschung* 76: 211–222.
- [11] Fengel D, Wegener G (1984) *Wood - chemistry, ultrastructure, reactions*; de Gruyter: Berlin, New-York.
- [12] Speck T, Burgert I (2011) Plant stems: functional design and mechanics. *Annu. Rev. Mater. Res.* 41: 169–193.
- [13] Barth FG (2004) Spider mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology* 14: 415–422.
- [14] Fratzi P, Barth FG (2009) Biomaterial systems for mechanosensing and actuation. *Nature* 462: 442–448.
- [15] Zhu M, Song J, Li T, Gong A, Wang Y, Dai J, Yao Y, Luo W, Henderson D, Hu L (2016) Highly anisotropic, highly transparent wood composites. *Adv. Mater.* 28: 5181–5187. doi: 10.1002/adma.201600427.
- [16] Li Y, Fu Q, Yu S, Yan M, Berglund L (2016) Optically transparent wood from a nanoporous cellulosic template: combining functional and structural performance. *Biomacromolecules* 17: 1358–1364. doi: 10.1021/acs.biomac.6b00145.
- [17] Lang AW, Li Y, De Keersmaecker M, Shen E, Österholm AM, Berglund L, Reynolds JR (2018). Transparent wood smart windows: Polymer electrochromic devices based on Poly (3,4-Ethylenedioxythiophene): Poly(styrene sulfonate) electrodes. *ChemSusChem* 11: 854–863. doi: 10.1002/cssc.201702026.
- [18] Sun J, Guo H, Ribera J, Wu C, Tu K, Binelli M, Panzarasa G, Schwarze FW, Wang ZL, Burgert I (2020) Sustainable and biodegradable wood sponge piezoelectric nanogenerator for sensing and energy harvesting applications. *ACS Nano* 14: 14665–14674.

- [19] Hao SF, Jiao JY, Chen YD, Wang ZL, Cao X (2020) Natural wood-based triboelectric nano-generator as self-powered sensing for smart homes and floors. *Nano Energy* 75: 104957.
- [20] Ding Y, Dreimol CH, Zboray R, Tu K, Stucki S, Keplinger T, Panzarasa G, Burgert I (2022) Passive climate regulation with transpiring wood for buildings with increased energy efficiency. *Materials Horizons* 10.1039/d2mh01016j
- [21] Le TSD, Park S, An J, Lee PS, Kim YJ (2019) Ultrafast laser pulses enable one-step graphene patterning on woods and leaves for green electronics. *Adv. Funct. Mater.* 29: doi.org/10.1002/adfm.201902771.
- [22] Dreimol CH, Guo H, Ritter M, Keplinger T, Ding Y Günther R, Poloni E. Burgert I, Panzarasa G (2022) Sustainable wood electronics by iron-catalyzed laser-induced graphitization for large-scale applications. *Nat. Commun.* 13: 3680.

BioChemicals

Überblick neue Klebstofftechnologien

Hendrikus (Erik) van Herwijnen
Wood K plus – Kompetenzzentrum Holz GmbH
Linz, Österreich



Überblick neue Klebstofftechnologien

1. Einleitung

Klebstoffe spielen eine entscheidende Rolle in der effizienten Nutzung von Holz. Sie maximieren das Potenzial in der kaskadischen Holzverwendung und tragen damit maßgeblich zu Erfolg und Wachstum der Holzwerkstoffindustrie bei. Klebstoffe sind *der* Schlüsselfaktor für die Herstellung von funktionellen Holzwerkstoffen, das gilt für die Verklebung von Massivholz genauso wie für jene von Holzpartikeln oder -fasern. Die Verklebung leistet damit einen entscheidenden Beitrag in der Entwicklung moderner Holzprodukte für den Einsatz vom Baubereich bis hin zur Möbelindustrie.

Seit der Prähistorie verwendet die Menschheit Holzleime basierend auf natürlichen Rohstoffen. Mit Beginn des Erdölzeitalters wurden diese durch Klebstoffe auf Basis von fossilem Öl und Gas ersetzt. Erst die Verwendung synthetischer Klebstoffe und deren jahrzehntelange Optimierungen, ermöglichte die Herstellung moderner Holzverbundprodukte, wie man sie heute kennt. Das Bestreben wieder zu Klebstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zurückzukehren, gewann mit der Erkenntnis der limitierten Verfügbarkeit fossiler Ressourcen und der Notwendigkeit klimaneutraler Prozesse zu etablieren wieder an Bedeutung. Das Wissen über die chemische Zusammensetzung der historischen Bindemittel ist im Laufe der Jahre entweder verloren gegangen oder aufgrund ihrer herausragenden Performance unter Verschluss gehalten worden, zum Beispiel die Klebeverbindungen in Stradivari-Geigen. Die wichtigste Hürde in der Entwicklung nachhaltiger Holzklebstoffe ist aber die Anpassung der Klebstoffformulierungen an die Anforderungen moderner Produktionsprozesse.

Seit einigen Jahren beschäftigen sich mehrere Forschungsgruppen intensiv mit der Entwicklung und Erforschung von Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und zeigen mit ihrer Arbeit auch die Herausforderungen hinsichtlich einer industriellen Umsetzung auf. Neben der offensichtlichen wirtschaftlichen Anforderung, dass nachwachsende Rohstoffe in großen Mengen und zu einem akzeptablen Preis verfügbar sein sollen, müssen auch technische Kriterien für eine zeitnahe Umsetzung erfüllt werden. Unter anderem müssen Klebstoffe mit bestehender oder nur leicht modifizierter industrieller Infrastruktur hergestellt und verarbeitet werden können. Dies erfordert die Umwandlung nachwachsender Rohstoffe in lösliche oder dispergierte Stoffe, um einen «flüssigen», Klebstoff zu erzeugen. Außerdem muss der Klebstoff eine vergleichbare Reaktivität aufweisen, um bei der Holzwerkstoffherstellung schnell genug auszuhärten und somit das Verfahren wirtschaftlich zu machen. Aufgrund der hohen Investitionen, die für eine typischerweise kontinuierliche Plattenproduktion erforderlich sind, ist die Produktivität einer industriellen Anlage von entscheidender Bedeutung. Ein Haupttreiber für die Produktionskosten ist somit die Produktionsgeschwindigkeit, die sich aus der Zeit ergibt, die eine Platte vom Aufheizen während der Heißpressung bis zum ausreichenden Aushärten des Klebstoffes vor der Weiterverarbeitung benötigt [1].

2. Ausgewählte nachwachsende Rohstoffe

Allein die Europäische Spanplattenindustrie verwendete in 2004 über 4 Millionen Tonnen synthetischen Harnstoff-Formaldehyd Leim [2]. Um diese enorme Menge an synthetischen Klebstoffen durch jene aus nachwachsenden Rohstoffen zu ersetzen, müssen einige Faktoren berücksichtigt werden, angefangen bei der Verfügbarkeit der Rohstoffe bis hin zur Konkurrenz mit anderen Industrien, wie z.B. der Nahrungsmittel- oder Düngemittelindustrie. Es gibt nur wenige nachwachsende Rohstoffe, die in einer vergleichbaren Größenordnung vorhanden sind, um diesen Bedarf (teilweise) abdecken zu können. Die Vielversprechendsten sind Lignin, pflanzliche Proteine und Kohlenhydrate.

2.1. Lignin

Lignin ist die Gerüstsubstanz von Holz bzw. verholzenden Pflanzen. Lignin macht etwa 30 % des gesamten, nicht-fossilen, organischen Kohlenstoffs auf der Erde aus [3]. Es gilt als der in den größten Mengen verfügbare aromatische nachwachsende Rohstoff. In der Papierindustrie fällt Lignin in großen Mengen, abhängig vom Prozess, entweder als Kraftlignin oder Lignosulfonat an.

Als Biopolymer aus phenolischen Grundbestandteilen hat Lignin eine strukturelle Ähnlichkeit zu den synthetische Phenol-Formaldehydharzen. Die partielle Substitution der Komponenten durch Lignin ist deshalb ein naheliegender Forschungsansatz. Dabei ist die konstante Qualität von technischen Ligninen ein wichtiges Kriterium, auf das die Hersteller mittlerweile auch großen Wert legen. Die zahlreichen Forschungsbestrebungen auf dem Gebiet der Lignin-modifizierten Phenolharze haben maßgeblich zu Entwicklungsfortschritten beigetragen. Mittlerweile sind erste Hybridprodukte auf dem Markt erhältlich [4]. Die substituierbare Menge an synthetischem Kleber mit nachhaltigem Lignin wird in erster Linie durch die Anforderungen an die Produktqualität, v.a. die erzielte Festigkeit, und durch kommerzielle Produktionsbedingungen bestimmt, die eine ausreichender Reaktivität des Bindemittels voraussetzen.

Die Verwendung von pulverförmigem Lignin in der Harzherstellung ist jedoch auch eine Herausforderung für die technische Umsetzung in der Produktion. Typische Probleme, die auftreten können, sind z. B. schlechter Pulverfluss oder Pulverablagerungen aufgrund statischer Elektrizität, Verstopfungen in Rohren und zu lange Auflösungszeiten. Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wurde in jahrelanger Forschungsarbeit ein Lignin-Phenol-Blend entwickelt [5]. Dieser ermöglicht es den Harzherstellern, Lignin als pumpfähige Flüssigkeit zu verwenden (Siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Arbeit mit pulverförmigem Lignin (links) und flüssigem Lignin-Phenol-Blend (rechts)

2.2. Proteine

Proteine sind große Biomoleküle, die aus einem oder mehreren Polypeptiden bestehen, Ketten von Aminosäuremonomeren, die durch Peptid-(Amid-)Bindungen verknüpft sind. Die weltweite Jahresproduktion von Lebensmittelproteine wurde im Zeitraum 1988–1990 auf 322×10^6 t/a geschätzt. Davon sind 78 % pflanzlichen und 22 % tierischen Ursprungs [6]. «Proteine», die in der Klebstoffherstellung verwendet werden, sind meist Nebenprodukte der Pflanzenölproduktion (z.B. Soja, Sonnenblumen, Raps) oder der Stärkeproduktion (z.B. Weizen, Kartoffeln, Erbsen). Das Wort «Protein» wird hier in Anführungszeichen gesetzt, da es sich in Wirklichkeit nicht um ein reines Protein handelt, sondern um ein proteinhaltiges Gemisch, das auch verschiedene andere, pflanzliche Bestandteile enthält.

Mittels eine gezielte Co-Kondensation können diese Gemische ebenfalls als zusätzlicher Bestandteil in der Herstellung von Phenolharzen verwendet werden. Holzwerkstoffe, wie Spanplatten und MDF, die mit derartigen proteinmodifizierten Phenolharzen hergestellt worden sind, entsprechen den mechanischen Normanforderungen und weisen gleichzeitig niedrige Formaldehydemissionen im Bereich natürlichen Holzes auf [7].

Da diese proteinmodifizierten Harze jedoch immer noch einen beträchtlichen Anteil an synthetischen Materialien enthalten, die auf fossilen Ressourcen basieren, besteht nach wie vor Bedarf an neuartigen Systemen, die vollständig aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt werden können. In Nordamerika wurde ein kommerzieller Klebstoff auf Soja-«Protein»-Basis entwickelt. Dieser besteht hauptsächlich aus Sojamehl und Polyamidharz als Härter und wurde bereits von Columbia Forest Products als Ersatz für UF-Harze bei der Herstellung von US-amerikanischem Sperrholz (zur Verwendung im Innenbereich) in der Produktion eingeführt [8]. Das daraus hergestellte Sperrholz mit dem Namen PureBond® ist das Produkt mit dem höchsten Anteil an erneuerbaren Bindemitteln in der gesamten Holzverarbeitenden Industrie, obwohl auch in diesem Fall der entscheidende Bestandteil des Klebstoffs noch immer aus fossilen Rohstoffen gewonnen wird. Aufgrund der hohen Viskosität ist dieser Klebstoff für viele Holzwerkstoffanwendungen jedoch ungeeignet. Um industriell verwertbare Klebstoffe zu produzieren, ist es wichtig, die Viskosität zu senken und gleichzeitig einen genügend hohen Feststoffgehalt zu erzielen [9]. Um die in Standards festgeschriebenen Qualitätskriterien für Holzwerkstoffe zu erfüllen, ist auch eine gewisse Wasserbeständigkeit erforderlich. Die geringe Nassfestigkeit ist ein großer Nachteil von Klebstoffen auf Proteinbasis. Durch Zugabe von Quervernetzern, die die funktionelle Proteingruppen stärker miteinander vernetzen, kann diese Materialeigenschaft verbessert werden [10].

2.3. Kohlenhydrate

Kohlenhydrate stellen mit $\sim 135 \times 10^9$ t/a etwa 75% der jährlich nachwachsenden Biomasse dar [11]. Das Polysaccharid Stärke wird von vielen Pflanzen produziert, um Energie zu speichern. Es umfasst zwei Arten von Glukosepolymere, helikale Amylose und das verzweigte Amylopektin. Stärke hat als Nahrungsquelle eine enorme Bedeutung. Sie wird aber auch in der technisch-chemischen Industrie eingesetzt, z.B. in der Herstellung von Papier und Pappe. Darüber hinaus wird sie als Klebstoff in einer Vielzahl von Produkten verwendet. In Holzwerkstoffen wird sie jedoch meist nur als Additiv zur Reduzierung des Harzverbrauchs und zur Vermeidung einer Überpenetration des Bindemittels in den Werkstoff eingesetzt [12]. Um als wirksamer Holzklebstoff eingesetzt werden zu können, muss das Polymer teilweise hydrolysiert werden, um wasserlöslich zu werden. Aktivere Vernetzungsgruppen können durch Oxidation von Alkoholgruppen zu Aldehyden eingeführt werden [13].

Einfachzucker, wie Glukose und Fruktose, können in Wasser in hohen Konzentrationen gelöst werden, wobei die erhaltenen Lösungen niedrigviskos bleiben. Für den Einsatz in wasserbeständigen Klebstoffen sind sie hingegen nicht geeignet. Ein alternativer Forschungsansatz ist zum Beispiel die Umsetzung dieser Zucker zu Hydroxymethylfurfural (HMF). HMF ist ein reaktives Molekül und könnte als wirksames Vernetzungsmittel für Klebstoffe eine Rolle spielen [14]. Leider ist HMF instabil und zerfällt mit der Zeit in Lävulinsäure und Ameisensäure oder kann zu Huminen weiter reagieren. Aus diesem Grund ist es aufwendig und teuer, HMF zu isolieren.

In einem innovativen Forschungsansatz wurde Fruktosesirup in eine HMF-haltige, reaktive Vorläuferlösung umgewandelt, die ohne Reinigung in-situ zur Herstellung eines Holzklebstoffes mit einem geringen Anteil an synthetischem Vernetzer verwendet wurde [15, 16]. Die Eignung dieses Klebstoffs für die Holzverleimung wurde durch die Herstellung von Spanplatten und MDF unter wirtschaftlich und technologisch vertretbaren Pressbedingungen demonstriert [17]. Darüber hinaus wurden diese Platten zur Herstellung von Möbelprototypen verwendet (Siehe Abbildung 2).

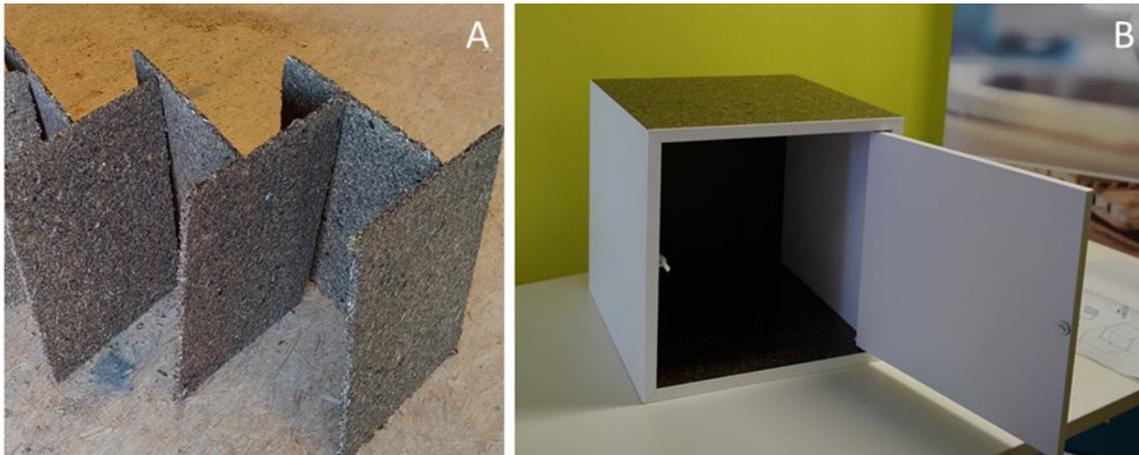


Abbildung 2: Spanplatten hergestellt mit Fruktose basiertem Klebstoff (A) und der daraus hergestellte Möbelprototyp (B)

3. Schlussfolgerung

Das wachsende Bewusstsein für die limitierte Verfügbarkeit fossiler Ressourcen führt zu einem Umdenken bei Konsumenten und Produzenten. Das rückt die Forschung an nachhaltigen Alternativen zu fossilen Klebstoffen wieder in das Interesse der Holzwerkstoffindustrie. Um die enormen Mengen an eingesetzten synthetischen Klebstoffen zu ersetzen, müssen geeignete nachwachsende Rohstoffe in großem Umfang zu einem wirtschaftlichen Preis verfügbar sein. Kombinationen von nachwachsenden Rohstoffen mit synthetischen Klebstoffen sind bereits im Einsatz. Als Beispiele können hier Lignin- oder Protein-modifizierte Phenolharze und Polyamidharz-vernetztes Sojamehl genannt werden. Technische Probleme in der Klebstoffproduktion mit Lignin können durch die Anwendung von Lignin-Phenol-Blends überwunden werden. Weltweit finden intensive Forschungsbestrebungen statt, um den Schritt zur Marktreife für nachhaltige Klebstoffalternativen näher zu bringen. Die chemische Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen zu reaktiven Bindemitteln ist ein entscheidendes Forschungsgebiet um flüssige Klebstoffe zu entwickeln, die industrielle Anforderungen hinsichtlich wichtiger Kriterien wie Feststoffgehalt, Viskosität oder Reaktivität erfüllen.

4. Dankwort

Im Laufe der Jahre wurden im Team «Advanced Bonding» der Kompetenzzentrum Holz GmbH zahlreiche, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende, Bindemittel entwickelt. Die intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit fand dabei im Bereich «Massivholz und Holzverbundwerkstoffe» am Standort Tulln in enger Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) statt. Hervorzuheben ist dabei insbesondere die gute Zusammenarbeit mit **Prof. Johannes Konnerth** (Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, BOKU), **Prof. Georg Gübitz** (Institut für Umweltbiotechnologie, BOKU), **Prof.ⁱⁿ Antje Potthast** (Institut für Chemie nachwachsender Rohstoffe, BOKU) und **Prof. Thomas Rosenau** (Institut für Chemie nachwachsender Rohstoffe, BOKU).

Die in der Holzwerkstoffentwicklung eingesetzten Lignin Blends wurden von **Pia Solt-Rindler** und **Peter Bliem** im Projekt «*Wood: next generation materials and processes – from fundamentals to implementations*», gefördert von der FFG, Comet K1, No. 865905, in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Borealis entwickelt. Im gleichen Projekt untersuchte **Elfriede Hogger** mit dem industriellen Bindemittelhersteller Metadynea Austria die Verwendung nachwachsender Rohstoffe als Additiv für Klebstoffen und evaluierte Pia Solt-Rindler, in Zusammenarbeit mit dem Spanplattenproduzenten Egger und Metadynea Austria experimentelle Bindemittel.

Außerdem entwickelte Pia Solt-Rindler, gemeinsam mit den Projektpartnern VTT, Fraunhofer CBP und Prefere Resins, Lignophenolharzen im Projekt «*SmartLi: Smart technologies for the conversion of industrial lignins into sustainable materials*». Dieses Projekt wurde vom Bio-Based Industries Joint Undertaking (BBI-JU) im Rahmen des Europäischen Research & Innovation Programms Horizon 2020, No. 668467, gefördert.

Proteinklebstoffe wurde von **Elena Averina** im Rahmen des Projektes «*HPM: High-performance Materials made of renewables*», entwickelt. Dieses Projekt wurde vom Land Niederösterreich gefördert.

Stärkeklebstoffe wurden von **Sidhant Padhi** im Projekt «*BioSet – Mechanistische Untersuchungen zur enzymatischen Oxidation von Stärke und Lignin als Basis für biobasierte Klebstoffe*», entwickelt. Das Projekt wird vom Land Niederösterreich gefördert, Projektpartner sind das Agrana Research and Innovation Center sowie Metadynea Austria, Sappi, TU Wien, ecoplus und die BOKU.

Klebstoffe auf Basis von kohlenhydratbasiertem 5-HMF wurden von **Catherine Rosenfeld** und **Wilfried Sailer-Kronlachner** im Projekt «*SUSBIND: Development and pilot production of sustainable bio binder systems for wood based panels.*» entwickelt. Dieses Projekt wurde vom Bio-Based Industries Joint Undertaking (BBI-JU) im Rahmen des Europäischen Research & Innovation Programms Horizon 2020, No. 792063, gefördert. Die Projektpartner in den Kohlenhydrat-fokussierten Arbeitspaketen sind RTDS Assoziation, Cargill, Egger, Valbopan, IKEA und CE Delft.

5. Literatur

Diese Arbeit ist hauptsächlich mit Literatur aus unserer Forschungsgruppe unterlegt, mit dem Ziel unsere Aktivitäten auf diesem Gebiet zu demonstrieren. Es wird keineswegs behauptet, dass dieses Referat ein vollständiges Review ist, da andere Gruppen ebenfalls relevante Publikationen veröffentlicht haben.

-
- [1] Solt P, Konnerth J, Gindl-Altmatter W, Kantner W, Moser J, Mitter R, van Herwijnen HWG: Technology performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particle board industry, *International Journal of Adhesion and Adhesives* **2019**, 94, 99.
 - [2] Whitfield RM, Brown FC, Low R: Socio-economic benefits of formaldehyde to the European Union (EU 25) and Norway, Lexington, MA: Global Insight; **2007**
 - [3] Laurichesse S, Avérous L: Chemical modification of lignins: towards biobased Polymers, *Progress in Polymer Science* **2014**, 39, 1266.
 - [4] Zum Beispiel: <https://prefere.com/de/unternehmen/die-lignin-story>
 - [5] Carmona RR, Dicke R, van Herwijnen HWG, Zeppetbauer F, Kamm B, Solt-Rindler P: Stable lignin-phenol blend for use in lignin modified phenol-formaldehyde resins, *EP 3 922 664*, **2021**
 - [6] Klostermeyer H, Schmandke H, Soeder CJ, Schreiber W, Oehlenschläger J, Scholtyssek S, Kobald M, Sander A, Eilers E, von Kries E: Proteins, *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; **2000**.
 - [7] Fliedner E, Heep W, van Herwijnen HWG: Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Bindemitteln für Holzwerkstoffe, *Chemie Ingenieur Technik* **2010**, 82, 1161.
 - [8] Malin N: Columbia forest products launches a revolution in plywood adhesives, *Environmental Building News* **2005**, 14, 9.
 - [9] Averina E, Konnerth J, D'Amico S, van Herwijnen HWG: Protein adhesives: Alkaline hydrolysis of different crop proteins as modification for improved wood bonding performance, *Industrial Crops & Products* **2021**, 161, 113187.
 - [10] Averina E, Konnerth J, van Herwijnen HWG: Protein adhesives: Investigation of factors affecting wet strength of alkaline treated proteins crosslinked with glyoxal, *Polymers* **2022**, 14, 4351.
 - [11] Lichtenthaler FW: Carbohydrates as organic raw materials, *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; **2000**.
 - [12] Hogger EM, van Herwijnen HWG, Moser J, Kantner W, Konnerth J: Systematic assessment of wheat extenders in formaldehyde-condensation plywood resins: Part I – physico-chemical adhesives properties, *The Journal of Adhesion* **2021**, 97, 1405; Part II – mechanical properties of plywood panels, *The Journal of Adhesion* **2021**, 97, 1310.
 - [13] Padhi SSP, et al, Veröffentlichung in Arbeit.

-
- [14] Rosenfeld C, Konnerth J, Sailer-Kronlachner W, Rosenau T, Potthast A, Solt P, van Herwijnen HWG: Hydroxymethylfurfural and its derivatives: Potential as key reactant in adhesives, *ChemSusChem* **2020**, 13, 5408
- [15] Sailer-Kronlachner W, Thoma C, Böhmdorfer S, Bacher M, Konnerth J, Rosenau T, Potthast A, Solt P, van Herwijnen HWG: Sulfuric acid-catalyzed dehydratization of carbohydrates for the production of adhesive precursors, *ACS Omega* **2021**, 6 (25)
- [16] Sailer-Kronlachner W, Rosenfeld C, Konnerth J, van Herwijnen HWG: Influence of critical synthesis parameters and precursor stabilization on the development of adhesive strength in fructose-HMF-amine adhesives, *Forest Product Journal* **2022**, 72 (S2)
- [17] Rosenfeld C, Solt-Rindler P, Sailer-Kronlachner W, Kuncinger T, Konnerth J, Geyer A, van Herwijnen HWG: Effect of mat moisture content, adhesive amount and press time on the performance of particleboards bonded with fructose-based adhesives, *Materials* **2022**, 15, 8701.

Nachhaltige Holzbeschichtungen – nur ein Traum oder realistisch?

Dr. Albert Rössler
ADLER-Werk Lackfabrik
Schwaz, Österreich



Nachhaltige Holzbeschichtungen – nur ein Traum oder realistisch?

**Albert Rössler, ADLER-Werk Lackfabrik
Johann Berghofer GmbH & Co KG, Austria**

1. Einführung

Das Thema «Nachhaltige Beschichtungen» ist derzeit in aller Munde. Dieser Trend wurde durch regulatorische Änderungen wie die chinesische Blue-Sky-Initiative, die 2018 einen Aktionsplan mit dem Ziel festlegte, Chinas Gesamt-VOC-Emissionen um mehr als 10 % im Vergleich zu 2015 zu reduzieren, zusätzlich vorangetrieben [1]. Die Frage, inwieweit eine Farbe oder ein Lack überhaupt nachhaltig sein kann, ist nicht einfach, denn Nachhaltigkeit ist ein unglaublich facettenreiches Thema, das weit über den klassischen Umweltschutz hinausgeht. Dies zeigt sich auch darin, dass die UN 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung definiert hat (<https://sdgs.un.org/>) und damit Impulse für Maßnahmen in unterschiedlichen Bereichen der Nachhaltigkeit gibt.

Drei Säulen der Nachhaltigkeit sind jedoch heute Stand der Technik und bedeuten, eine Balance zwischen Umwelt, wirtschaftlichen Faktoren und Menschen zu erreichen. Alle drei Faktoren (siehe Abbildung 1) müssen gleichermaßen berücksichtigt und gleich bewertet werden – damit unsere Kinder und Enkel ein sicheres Leben führen können [2].

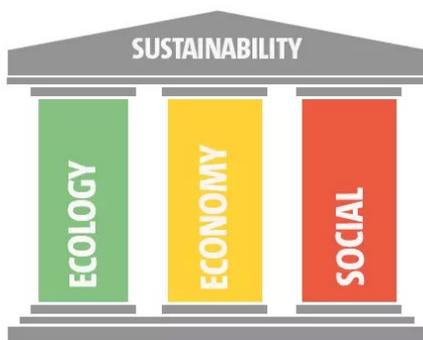


Abbildung 1: Drei Säulen der Nachhaltigkeit

Ökologie sorgt für einen schonenden Umgang mit Ressourcen. Es ist allgemeiner Konsens, die Umwelt zu schützen und Ressourcen zu schonen, insbesondere durch umweltfreundliche Produkte und Verfahren. Ökonomische Faktoren bezeichnet alle Bemühungen um nachhaltiges Wirtschaften. Soziales bedeutet, langfristigen Mehrwert für Kunden und Mitarbeiter sowie für die Gesellschaft zu schaffen. Aspekte wie bestmögliche Rahmenbedingungen und Weiterbildungsmöglichkeiten werden einbezogen und gewinnen immer mehr an Bedeutung.

Bei der stärkeren Fokussierung auf den technischen Bereich sind drei Aspekte wichtig: Umwelt, Gesundheit & Sicherheit und Lebensdauer. Nur Produkte, die in all diesen Bereichen positiv abschneiden, sind im Hinblick auf Nachhaltigkeit von hohem Interesse.

Am Ende des Tages kann als nachhaltig bezeichnet werden, was unsere Umwelt nicht negativ beeinflusst, also nicht schädlich für die Umwelt, unsere Gesundheit, das Klima oder die Menge der zur Verfügung stehenden Ressourcen ist.

Um einen Weg durch den Themenschwung der Nachhaltigkeit zu finden, können wir uns auf die Ausgangspunkte der schädlichen Auswirkungen und auch auf Chancen besinnen:

Welche Auswirkungen haben Beschichtungen auf die Umwelt?

- VOC-Gehalt
- Treibhauspotenzial oder ökologischer Fußabdruck
- Menge an aromatischen Verbindungen und Schwermetallen
- Anteil nachwachsender Rohstoffe

Wie wirken sich Beschichtungsprodukte während und nach der Anwendung auf die Gesundheit der Menschen aus?

- Menge an krebserzeugenden und allergenen Stoffen
- Menge an synthetischen Nanomaterialien
- Menge Weichmacher (Phthalate)
- Menge an Rohstoffen, die Organe schädigen können
- Menge an sensibilisierenden und hautätzenden Rohstoffen
- Auswirkungen auf die Gesundheit durch verringerte Umweltbelastung

Wie wirkt sich die Beschichtung auf die Lebensdauer der behandelten Oberflächen aus?

- Haltbarkeit und Elastizität
- Beständigkeit gegen Witterung, Licht, chemische und/oder mechanische Einflüsse
- Farbstabilität und Minimierung von Kreidung
- Wartung, Nassabrieb und Reparierbarkeit
- Ertrag oder Deckkraft

Daher ist es notwendig, großen Wert auf höchstmögliche Sicherheitsstandards und den Schutz der Umwelt zu legen.

2. Produktsicherheit

Produktsicherheit bedeutet, die sichere Handhabung, sorgenfreie Anwendung und sachgerechte Lagerung unserer Produkte zu gewährleisten. Folgende Prozesse sind in diesem Zusammenhang wichtig:

- Der erste Schritt ist immer die Aufnahme von Rohstoffen. Daher spielt die Auswahl geeigneter Rohstoffe eine wichtige Rolle. Jedes neue Ausgangsmaterial muss nach neuestem Wissen und Erkenntnissen geprüft werden. Rohstoffe, die für den Benutzer schädlich sein könnten (toxische oder umweltschädliche Stoffe – also Schwermetalle, Karzinogene usw.), dürfen nicht verwendet werden. Risiko ist jedoch nicht Gefahr! Schutz und Exposition sind immer zu berücksichtigen!
- Nachhaltigkeit und Benutzerfreundlichkeit und Gebrauchssicherheit von Produkten sind von Anfang an relevante Aspekte, bereits während des Entwicklungsprozesses. Umfassende Tests im Labor und laufende Qualitätssicherungsmaßnahmen garantieren bestmögliche und gleichbleibende Qualität. Strenge Auflagen stellen zudem sicher, dass sie die einschlägigen Gesetze zur Verwendung von Chemikalien in den verschiedenen Ländern einhalten.
- Kundenkommunikation: Wichtig ist eine transparente Kommunikation zum Thema Produktsicherheit. Relevant sind Informationen zum Umgang und zur Risikobewertung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, wie technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter, Prüfzeugnisse und Nachhaltigkeitsdatenblätter.

3. Anlagensicherheit – Schutz von Mensch und Umwelt

Ein sehr wichtiger Bestandteil der Nachhaltigkeit ist die Gewährleistung sicherer Anlagen und Geräte, die keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen, sowie die Schaffung und Erhaltung sicherer Arbeitsplätze für unsere Mitarbeiter an allen unseren Standorten. Als Chemieunternehmen müssen Lackhersteller Verantwortung übernehmen! Die wichtigsten Eckpfeiler dabei sind:

- Planung und Errichtung von modernen und sicheren Anlagen, Einrichtungen und Arbeitsplätzen
- Regelmäßige Überprüfung der Anlagen, Einrichtungen und Arbeitsplätze auf potenzielle Risikofaktoren unter Anwendung standardisierter Bewertungsmethoden
- Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Maschinen, um sichere Prozesse zu gewährleisten
- Laufende Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter und Schaffung eines Bewusstseins für Sicherheit am Arbeitsplatz

- Verbindliche Anweisungen für Arbeitsabläufe und Betriebsabläufe
- Aktions- und Notfallpläne sowie eine Reihe von Brandschutzvorschriften
- Abfallwirtschaft durch Waschen von Tanks, Behältern etc. und Minimierung von Rückständen in Behältern und Rohrleitungen (z. B. durch Molchsysteme) [17]
- Minimierung von Emissionen in die Umwelt (Luft und Abwasser)

Mit diesen Maßnahmen kann die chemische Industrie sicherstellen, dass die Herstellung chemischer Produkte störungsfrei durchgeführt werden kann.

4. Natürliche und nachwachsende Rohstoffe

Nachhaltigkeit bedeutet in der Beschichtungstechnik immer noch sehr häufig den Einsatz eines hohen Anteils an natürlichen und nachwachsenden Rohstoffen [3]. Doch nicht immer ist der Austausch nachhaltiger, obwohl je nach Beschichtungstechnologie ein biobasierter Anteil zwischen 30 und 90 % möglich ist. Ob die Belastung geringer ist als bei Petrochemikalien, hängt vom Rohstoff ab. Bei der Anwendung des Mischfrucht- oder Zweitfruchtverfahrens gibt es keine oder nur geringe Konflikte mit der Lebensmittelindustrie. Der Einsatz von Insektiziden und Düngemitteln muss minimiert werden und es werden landwirtschaftliche Methoden benötigt, die Bestäuber (z. B. Bienen) in einer recht blütenarmen Zeit mit Nahrung versorgen. Der Anbau muss die Biodiversität stärken! Regionale Rohstoffe mit kürzeren Transportwegen bieten ebenso wichtige Vorteile wie der Wasserverbrauch. In diesem Zusammenhang sieht man auch die globale Dimension der Nachhaltigkeit. Ein Beispiel ist der Anbau von Leindotter zusammen mit Erbsen oder als Zweitfrucht für die nachhaltige Produktion von Leindotteröl für Alkydfarben [4, 5]. Es gibt Möglichkeiten, aber nicht sehr oft mit Rohstoffen, die aus denselben Bausteinen aufgebaut sind wie fossile Brennstoffe. Daher sind besonders biobasierte Rohstoffe mit unterschiedlicher Struktur interessant, weil wir auch die Synthesekraft der Natur nutzen können. Biopolymere wie Chitin, Chitosan, Stärke, Gelatine und Zein usw. stellen eine praktikable alternative Lösung für Holzbeschichtungsformulierungen dar, sowohl im Hinblick auf die kommerzielle als auch auf die Schutzwirkung (Bulian und Graystone 2009). Ein Vorteil der Verwendung von Biopolymeren im Holzschutz liegt in der hohen Kompatibilität mit polaren Klebstoffen und einer guten Affinität zu proteinbasierten oder zellulosebasierten Biopolymeren [6]. Itaconsäure wird als biobasierte Alternative zu petrochemischen Bausteinen eingesetzt [11]. Auch aromatische Verbindungen sind bereits verfügbar [15]. Sicherlich ist das Portfolio an biobasierten Rohstoffen neben Bindemitteln derzeit noch klein. Aber von Verdickungsmitteln bis hin zu UV-Absorbern und Tensiden sowie Wachsen sind auch immer mehr Zusatzstoffe verfügbar [12]. Neuere Arbeiten zu Pigmenten sind ebenfalls vielversprechend [13, 14], insbesondere die bioinspirierten. Dies erfordert jedoch mehr Innovationsarbeit, bietet aber die Chance, echte Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Sicherlich muss die Verfügbarkeit berücksichtigt werden und die Qualitätsschwankungen (z. B. durch unterschiedliche Mengen an natürlichen Nebenprodukten) können problematisch sein.

5. Schlüsselfaktor: Treibhausgase

Eine nachhaltige Farbe ist nicht nur eine Frage biobasierter Rohstoffe. Darüber hinaus ist ein niedriger Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) auch ein Schlüsselmerkmal jeder nachhaltigen Farbe oder jeden Lacks, und wasserbasierte oder Pulverlacke spielen eine wichtige Rolle als Game Changer. Sie belasten die Umwelt – vor allem in Form von Luftverschmutzung (petrochemischer Smog) und in geringerem Maße als Treibhausgase. Darüber hinaus können VOCs auch Atemwegsreaktionen auslösen. Die VOC-Emissionen aus Holzlacken sind jedoch in den letzten Jahrzehnten drastisch zurückgegangen, obwohl der Einsatz von Lacken im gleichen Zeitraum zugenommen hat. Sicherlich sind auch emissionsarme Farben mit niedrigem VOC-Gehalt mit von der Partie und weitere Fortschritte sind notwendig, aber heute sollte der Fokus ganzheitlicher auf der Reduzierung von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlendioxid, liegen. Treibhausgase wirken wie das Glas eines Treibhauses und führen zu einer globalen Erwärmung, die sich im schlimmsten Fall zu einer Klimakatastrophe entwickeln kann.

Betrachtet man den CO₂-Fußabdruck (CFP) oder das Treibhauspotenzial (GWP) von Lacken (siehe Abbildung 2), so sieht man, dass die CFP von wasserbasierten Lacken geringer sind

als bei lösemittelhaltigen Systemen. Es ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass dieses Ergebnis immer von der jeweiligen Anwendungs- und Trocknungssituation sowie der Lösungsmittelverbrennung abhängt. Aber es zeigt sich immer wieder, dass mehr als 80 % des CO₂-Fußabdrucks auf die Rohstoffe zurückzuführen sind. Kein Unternehmen ist also grüner als seine Lieferanten.

6. Ökologischer Fußabdruck und Farben

Der Fußabdruck soll den Höhepunkt der jahrzehntelangen Fokussierung auf Nachhaltigkeit und die Messung von Umweltauswirkungen darstellen. In den letzten Jahren hat sich die Lebenszyklusanalyse (LCA) zu einem wichtigen Instrument entwickelt, um die Umweltauswirkungen von Produkten und industriellen Prozessen zu quantifizieren. Es bietet ein vollständiges Bild der Auswirkungen, um die besten Hebel für Verbesserungen zu finden.

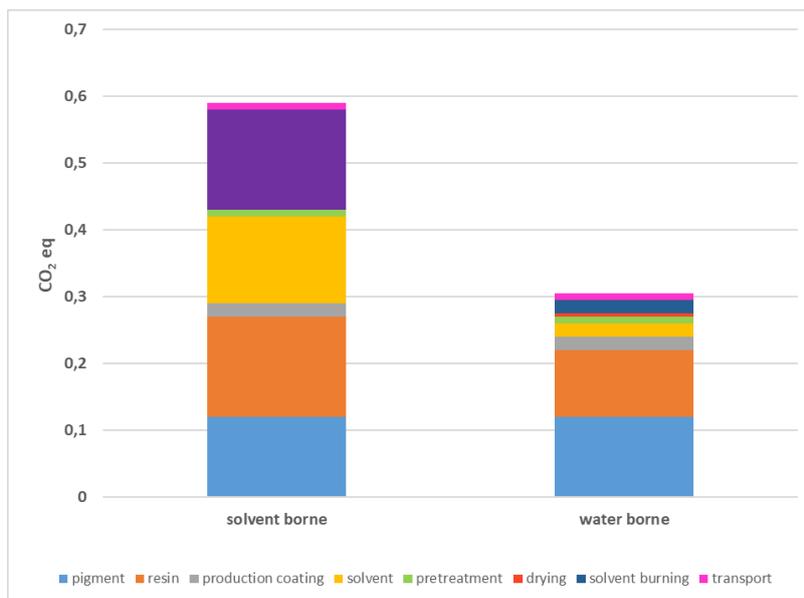


Abbildung 2: CO₂-Fußabdruck von wasser- und lösemittelbasierten Lacken (aufgeteilt nach Rohstoffen sowie Produktions- und Applikationsschritt)

Treibhausgase sind nur ein Teil der Geschichte und Diskussionen sollten nicht nur in Bezug auf VOCs stattfinden, die Luftverschmutzung verursachen, sondern auch in Bezug auf Wasserverbrauch, Ozonabbau, Toxizität für Boden und Wasser und eine Vielzahl anderer Parameter. Moderne Analysen konzentrieren sich also auf [16, 18]:

- Global Warming Potential (GWP) – allgemein bekannt als CO₂-Fußabdruck (CFP), der sich auf den Klimawandel bezieht (Einheit: kg CO₂-Äquivalent).
- Abiotisches Abbaupotenzial, fossil (ADP fossil) – bewertet den fossilen abiotischen Ressourcenverbrauch, wobei die Ressourcenknappheit das Hauptkriterium ist (Einheit: MJ).
- Versauerungspotenzial (AP) – Wirkungskategorie, die sich mit Emissionen befasst, die zur Versauerung von Boden und Wasser beitragen, was zu Waldsterben und Versauerung von Seen führt (Einheit: kg SO₂-Äquivalent).
- Eutrophierungspotenzial (EP) – Eutrophierung umfasst alle potenziellen Auswirkungen von Nährstoffen (hauptsächlich Stickstoff und Phosphor) auf die Umwelt, die zu einer unerwünschten Verschiebung der Artenzusammensetzung und einer erhöhten Biomasseproduktion in Ökosystemen führen können (Einheit: kg Phosphat-Äq).
- Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP) – berücksichtigt die Bildung von Ozon am Boden der Troposphäre, verursacht durch photochemische Oxidation von VOC und Kohlenmonoxid (CO) in Gegenwart von Stickoxiden (NO_x) und Sonnenlicht (Einheit: kg Ethen -Äq).

7. Reduzierung des Produkt-Fußabdrucks durch Effizienz

Neben der Frage, den CO₂-Fußabdruck durch Effizienzsteigerung zu reduzieren, müssen wir uns darüber im Klaren sein, dass unsere Rohstoffe begrenzt sind. Daher ist die Reduzierung des Abfall-, Material- und Energieverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette für die Nachhaltigkeit unerlässlich. Dies wurde bereits im Kapitel Produktsicherheit bei der Lackherstellung erwähnt, ist aber auch am Einsatzort notwendig. Die Definition von Effizienz bietet die Möglichkeiten:

$$\frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \text{Effizienz}$$

Wir können den Input, also Rohstoffe und Energie, minimieren und den Output (wie die Lebensdauer) maximieren. Einige Beispiele in diesem Bereich sind Ansätze wie digitale oder Overspray-freie Anwendungen (siehe Abbildung 3) [8] oder einfach die Optimierung automatischer Sprühstraßen.



Abbildung 3: Overspray-freies Auftragen von Lacken [7]

Darüber hinaus ist auch das Recycling von Lacken im Applikationsprozess heute Stand der Technik und reduziert den Abfall deutlich [9].

Eine weitere Möglichkeit, Abfall während der Anwendung zu reduzieren, besteht darin, die im Trocknungsschritt gebildeten Gase zu behandeln [16].

8. Von einer linearen zu einer zirkulären Betrachtungsweise – hin zu Circular Economy

In den letzten 10 bis 15 Jahren hat sich jedoch ein ganzheitlicherer Ansatz durchgesetzt, der weniger das Produkt selbst als vielmehr den gesamten Lebenszyklus – von den Rohstoffen über die Herstellungsverfahren und die Produktsicherheit bis hin zur Anwendung – in den Mittelpunkt stellt zu Abbauprodukten. Daher muss die gesamte Lieferkette von der Herstellung der Rohstoffe bis zum Transport berücksichtigt werden, indem der Kohlenstoff- und Umweltfußabdruck des gesamten Produktlebenszyklus betrachtet wird.

State of the Art ist das «Cradle to Cradle»-Konzept, das die Idee beinhaltet, dass ein Produkt am Ende seines Lebenszyklus wieder in die Kreislaufwirtschaft gelangt. Abfall soll kein Müll, sondern eine wertvolle Ressource sein – eine faszinierende Idee.

Die bisher übliche lineare Betrachtungsweise eines Produkts (siehe Abbildung 4) endet an dem Punkt, an dem sein Lebenszyklus endet. Das Produkt wird entsorgt und wertvolle Ressourcen werden zerstört.



Abbildung 4: Lineare Ökonomie

Im Gegensatz dazu betrachtet die Kreislaufwirtschaft das Produkt als Teil eines permanent zirkulierenden Systems (siehe Abbildung 5). Ziel eines solchen Systems ist es, Materialien und Produkte so lange wie möglich zu teilen, zu leasen, wiederzuverwenden, zu reparieren, zu überholen und zu recyceln, um die Lebensdauer der verwendeten Produkte und Materialien zu verlängern.



Abbildung 5: Kreislaufwirtschaft

Am Ende des Produktlebenszyklus werden die Ressourcen nicht vernichtet, sondern gehen zurück in den Kreislauf. Sowohl der Ressourcenverbrauch als auch die Abfallentstehung werden daher so weit wie möglich minimiert. Dieses Konzept einer Kreislaufwirtschaft oder «Cradle to Cradle» wurde Ende der 1990er Jahre vom deutschen Chemiker Michael Braungart und dem amerikanischen Architekten William McDonough entwickelt [10].

Für die Beschichtungsbranche bedeutet dies einen Ansatz, der auf den Prinzipien der Reduzierung, Wiederverwendung und des Recyclings basiert. Es ist notwendig, den gesamten Entstehungs- und Nutzungsprozess eines Produktes genau zu betrachten: von der Verwendung und Auswahl nachwachsender Rohstoffe über die Wahl umwelt- und ressourcenschonender Herstellungsverfahren bis hin zur Sicherstellung der Recyclingfähigkeit. Dies ist bei Verpackung und Transport sowie beim Auftragen der Beschichtungen fortzusetzen. Abfall ist eine wertvolle Sekundärressource, das ist die Devise. In der Praxis bedeutet dies beispielsweise, dass ein ausrangiertes Möbelstück oder Holzbauteil nicht im Müll landet, sondern nach dem Prinzip der Kaskadenverwertung wiederverwendet wird – durch Upcycling mit einem Anstrich oder durch Nutzung, um andere Holzwerkstoffe oder sogar Dämmstoffe herzustellen. Nicht zuletzt kann sich diese Ökonomie auch auf die Geschäftsmodelle auswirken.

Umweltsiegel und Nachhaltigkeitszertifikate gibt es viele – aber wenige sind so umfassend oder haben so hohe Standards wie «Cradle to Cradle», das Gütesiegel für die innovative Kreislaufwirtschaft. Solche Zertifizierungen bestätigen, dass ein Unternehmen umweltverträgliche, gesunde und recycelbare Materialien verwendet, dass es Solarenergie oder eine andere Form erneuerbarer Energie nutzt, dass es einen verantwortungsvollen Umgang mit Wasser annimmt und dass es Strategien hat für soziale Verantwortung. Damit sind die Ambitionen in Sachen Nachhaltigkeit für den Kunden transparent und nachvollziehbar.

9. Zusammenfassung

Beschichtungen sind für die meisten Massivholz- oder Holzwerkstoffprodukte, die in Außenanwendungen verwendet werden, unerlässlich. Neben der Verleihung der gewünschten ästhetischen Eigenschaften (Farbe, Glanz, Glätte) sind Beschichtungen von entscheidender Bedeutung für den Schutz des Holzes vor Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Temperaturschwankungen, biologischer Fäulnis und Schäden an der strukturellen Integrität, die dadurch entstehen mechanische oder chemische Prozesse.

Es gibt mehrere wichtige Faktoren für den ökologischen Fußabdruck von Beschichtungen – die Produktion der Rohstoffe, die Kosten für den Transport der Farbe vom Werk zum

Kunden und wie lange die lackierte Oberfläche hält, bis sie neu lackiert werden muss, d.h. wie haltbar der Lackfilm ist. Dieser letzte Aspekt ist von besonderem Interesse – eine haltbare, länger haltbare Farbe ist besser für die Umwelt. Die Reduzierung von Abfall ist eine weitere Möglichkeit, die Nachhaltigkeit des Systems während der Anwendung zu verbessern. Eine Möglichkeit, dieses Problem anzugehen, besteht darin, Overspray zu reduzieren, möglicherweise durch die Verwendung von Overspray-freien Auftragsleitungen. Durch die Kombination von Themen der Kreislaufwirtschaft und nachhaltigem Design mit der Verlängerung der (Lebens-)Lebensdauer von Beschichtungen durch Hochtechnologie entsteht eine klassische Win-Win-Situation für die Kunden – sie betreiben ihr Geschäft nachhaltig und sparen gleichzeitig Energie- und Servicekosten. Daher wird es auch immer wichtiger, dass die einzelnen Bereiche eng zusammenarbeiten. Viele wichtige Innovationen sind aus gemeinsamen Projekten mit Kunden, mit Herstellern von Rohstoffen oder Anlagen und natürlich mit akademischen und wissenschaftlichen Einrichtungen entstanden. Solche Innovationsworkshops werden in Zukunft immer wichtiger. Schließlich ist es auch eine Frage der Einstellung: Wir alle wissen, dass wir eine Mitverantwortung für Klima und Umwelt tragen – diese Verantwortung sollten wir auch im Berufsleben wahrnehmen.

10. Referenzen

- [1] <https://chinadialogue.net/en/pollution/10711-china-releases-2-2-actionplan-for-air-pollution> (01/10/2020)
- [2] M.F. Cunningham, J.D. Campbell, Z. Fu, J. Bohling, J.G. Leroux, W. Mabee, T. Robert, *Green Chem.* 2019, 21, 4919–4926. DOI: 10.1039/C9GC02462J
- [3] C. Teacă, D. Roşu, F. Mustaţă, T. Rusu, L. Roşu, I. Roşca, C. Varganici, *Bioresources* 2019 14(2):4873–4901, DOI:10.15376/biores.14.2.Teaca
- [4] <https://www.worlee.de/nc/en/pressnews/news/detail/datum/2018/04/11/worlee-develops-new-binder-based-on-camelina-oil/> (01.09.2022)
- [5] S. Kasetaitė, J. Ostrauskaite, V. Grazulevičienė, J. Svedienė, D. Bridziuvienė, *J. Appl. Polym. Sci.* 2014, 2014, 131, 40683, DOI: 10.1002/APP.40683
- [6] F. Bulian, J.A. Graystone, *Industrial Wood Coatings, Theory and Practice*, First Edition, 2009, Elsevier, Amsterdam
- [7] <https://www.durr.com/de/produkte/lackieranlagen-applikationstechnik/lackapplikation/oversprayfreie-lackapplikation>, 01.09.2022
- [8] *Besser Lackieren* 2019, 13.12.2019, 11
- [9] U. Hoffmann, *JOT* 2009, 3, 10
- [10] W. McDonough, M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, Farrar, Straus and Giroux, 2010
- [11] P. Li, M. Songqi, D. Jinyue, L. Xiaoqing, J. Yanhua, W. Sheng, W. Jingjing, C. Jing, Z. Jin, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2017, 5, 1, 1228–1236, DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b02654
- [12] M. Wundlechner, P. Kratzer, *European Coatings Journal* 2021, 10, 20
- [13] A. Büngeler, F. Kollmann, K. Huber, O. Strube, *Biomacromolecules* 2022, 23(3):1020-1029 DOI:10.1021/acs.biomac.1c01390
- [14] S. Vignolini, E. Moyroud, B.J. Glover, U Steiner, *J. R. Soc Interface* 2013, 10 (87), DOI: 10.1098/rsif.2013.0394
- [15] E. Mahmoud, D.A. Watsonb, R.F. Lobo, *Green Chem.* 2014, 6, 167, DOI: 10.1039/C3GC41655K
- [16] B.V. Sánchez, D. Steinke, K. Schenk, E.T. Rosales, S.A. Thomsen, *European Coatings Journal* 2021, 1
- [17] <https://www.pcimag.com/articles/109362-how-paint-manufacturers-can-reduce-waste-improve-sustainability> (01.09.2022)
- [18] Guinée J B, *Handbook on Life Cycle Assessment*, Springer Science & Business Media, 2002

Harze und Klebstoffe auf Basis von Lignin und Tanninen

Prof. Dr. Ingo Mayer
Bernere Fachhochschule
Biel/Bienne, Schweiz



Harze und Klebstoffe auf Basis von Lignin und Tanninen

1. Ungenutztes Potential phenolischer Stoffe aus forstlicher Biomasse

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit spielen eine zunehmend wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Produkte. Verbraucherinnen und Verbraucher legen einerseits Wert auf Regionalität und Umweltverträglichkeit, andererseits wird der Einsatz von chemischen Produktzusätzen immer strenger reglementiert. Lignin und Tannine, polyphenolische Makromoleküle in Holz und Rinde, stellen eine bedeutende Ressource für stoffliche Anwendungen im Werkstoffbereich und darüber hinaus dar. Allerdings wird nur ein Bruchteil des mengenmäßigen Potentials dieser Stoffe im Rahmen der Holzwertschöpfungskette für stoffliche Anwendungen genutzt. Biobasierter Harze und Klebstoffe könnten maßgeblich zum Ausbau von Kapazitäten für eine Extraktion und stoffliche Nutzung dieser Verbindungen im Rahmen einer holzbasierten Bioökonomie beitragen.

2. Gewinnung von Tanninen und technischem Lignin

2.1. Extraktion von Tanninen aus forstlicher Biomasse

Tannine zählen zu den sekundären Inhaltsstoffen in Holz- und Rindengewebe und lassen sich chemisch als polyphenolische Oligomere beschreiben. Im lebenden Baum übernehmen sie unterschiedliche Schutzfunktionen, z.B. als Wirksubstanz, um Holz gegen mikrobiellen Angriff durch Pilze und Bakterien zu schützen. Bei der Bildung von Kernholz in Laubhölzern übernehmen Tannine in Form von Thyllen häufig die Aufgabe des Gefäßverschlusses zur Unterbindung des Wassertransportes im Kernholz.

Tannine sind durch Heißwasser gut extrahierbar und werden nach diesem Prinzip industriell gewonnen. Die Gewinnung tanninreicher Extrakte im industriellen Maßstab aus den Arten «Quebracho» (*Schinopsis lorentzii* [Engl.]) und der Schwarzholz-Akazie «Mimosa» (*Acacia mearnsii* [De Wild.]) sowie aus dem Holz der Edelkastanie (*Castanea sativa* [Mill.]) ist ein seit vielen Jahrzehnten etablierter Prozess. Das Ausgangsmaterial wird dabei mit Hilfe von Zerkleinerungsaggregaten zu kleinen Partikeln zermahlen und anschließend in Extraktionsgefäße (sog. Extrakteure) überführt. Üblicherweise wird mit einem Flottenverhältnis von 5:1 und höher gearbeitet und die Partikel während einer Extraktionsdauer von 30-60 min bei Temperaturen von 70-90°C mittels Heißwasser extrahiert. Das Extrakt wird anschließend durch einen Filtrationsschritt von den Partikeln getrennt und mit Hilfe von Verdampfern auf einen Feststoffgehalt von 30-40% eingengt, bevor es zu wasserfreiem Pulver mittels Sprühtrocknung getrocknet wird.

Das globale Marktvolumen der so gewonnenen Tanninextrakte beläuft sich auf ca. 200.000 t/Jahr, wobei die Hauptanwendung nach wie vor im Bereich der vegetabilen Gerbung von Tierhäuten und der Erzeugung von hochqualitativen Lederprodukten liegt. Die zweithäufigste Anwendung liegt jedoch im Bereich der Holzwerkstoffherstellung als Grundbestandteil von dabei eingesetzten Klebstoffen.

Neben den oben aufgeführten tropischen Holzarten (die Edelkastanie spielt mengenmäßig für das globale Marktvolumen eine untergeordnete Rolle) besitzen auch weitere heimische forstliche Biomassen ein Potential für eine wirtschaftlich rentable Extraktion und Valorisierung darin enthaltener Tannine. In einer Studie zum Potential der forstlichen Biomasse des Schweizer Waldes für die Gewinnung von Pflanzenstoffen konnten die Rinde von Fichte und Weißtanne sowie Holz von Eiche, Kastanie, Waldkiefer, Lärche und Arve als besonders geeignete Sortimenten identifiziert werden [1].

Ausgehend vom NFP66-Projekt «TannEx» (Nationales Forschungsprogramm 66 Holz, Schweiz) haben Forschende der Berner Fachhochschule (BFH) in den Jahren 2015 bis 2018 die chemische Zusammensetzung der Extrakte heimischer NadelholZRinden in Abhängigkeit

der Extraktionsparameter detailliert ermittelt. Eine Reihe von Produkten für unterschiedliche Märkte wurden seitdem auf Basis solcher Extrakte im Rahmen von Innovationsprojekten an der BFH entwickelt bzw. sind aktuell in Entwicklung. Die Validierung der Applikationen im Pilotmaßstab scheiterte bislang allerdings an der nicht in ausreichender Menge und Qualität gegebenen Verfügbarkeit der Extrakte. Diese Lücke konnte durch den Aufbau einer Pilotextraktionsanlage geschlossen werden, die als gemeinsames Infrastrukturprojekt der Berner Fachhochschule und der Schilliger Holz AG am BFH-Standort in Biel 2021 in Betrieb ging (Abbildung 1).

Die Infrastruktur der Pilotextraktionsanlage selbst dient zur Extraktion forstlicher Biomasse und Reststoffen aus Sägewerksprozessen im Pilotmaßstab. In wässrigen und Lösemittelbasierten Extraktionsprozessen können vor allem phenolische Inhaltsstoffe (primär kondensierte Tannine) gewonnen werden. Die Kapazität der Anlage erlaubt die Verarbeitung von bis zu 50 kg Biomasse pro Tag zu hochkonzentrierten Extrakten, die in einem nachfolgenden Prozessschritten bis zum pulverförmigen Extrakt getrocknet werden können. Die Anlageninfrastruktur wird sowohl zur Optimierung und Validierung von Extraktionsprozessen eingesetzt sowie für die Erzeugung von Extrakten aus heimischer Biomasse zur Entwicklung von unterschiedlichen Anwendungen basieren auf den gewonnenen Tanninen.



Abbildung 1: Pilotextraktionsanlage zur Erzeugung tanninreicher Extrakte aus Holz und Rinde heimischer Baumarten an der Berner Fachhochschule, Biel

2.2. Lignin-Extraktion im Rahmen der Zellstoffherzeugung und in Holzbioraffinerien

Ein Großteil des Lignins wird im Rahmen der Zellstoff- und Papierindustrie durch chemischen Holzaufschluss extrahiert. Dabei wird jedoch weiterhin der größte Teil des extrahierten Lignins in Form von sogenannter Schwarzlauge für den internen Energieeinsatz im Zellstoffprozess energetisch verwertet. Erfreulicherweise steigt jedoch in den letzten Jahren die am Markt verfügbare Menge an technischen Ligninen. Dies ist vor allem auf den Ausbau von Prozessen zur Abtrennung von Lignin aus der Schwarzlauge im Kraft-Prozess sowie auf die Errichtung von Extraktionsprozessen für Holzbioraffinerien zurückzuführen.

Das Kraft-Verfahren ist dabei das am häufigsten angewandte Verfahren zur Extraktion von Lignin aus Holz. Beim Kraftverfahren wird das Lignin unter Einsatz von Prozesschemikalien (Natriumhydroxyd und Natriumsulfid) bei Temperaturen von etwa 170°C gelöst und in der verbrauchten Aufschlussflüssigkeit, der «Schwarzlauge», aufgefangen. Die Schwarzlauge enthält auch eine erhebliche Menge an ebenfalls herausgelösten Hemicellulosen. Das Lignin in der Schwarzlauge dient in den Werken als Hauptenergieträger. Nach einer Eindampfung wird die Schwarzlauge deshalb größtenteils energetisch verwertet. Die für die Deckung des Energiebedarfs nicht benötigte Menge an extrahiertem Lignin kann jedoch anderweitig verwertet werden. Für die Abtrennung aus der Schwarzlauge haben sich in den letzten 10 Jahren Prozesse etabliert, bei denen das Lignin durch Absenkung des pH-Wertes in der Schwarzlauge zur Ausfällung gebracht wird und mittels Filtration und Waschen in gereinigtem Zustand abgetrennt werden kann. Das im industriellen Maßstab in einigen Unternehmen bereits umgesetzte Lignoboost-Verfahren kann Lignin nach diesem Prinzip in hoher Reinheit abtrennen. Die weltweite Produktionskapazität von durch dieses Verfahren gereinigtem Kraftlignin beträgt bereits etwa 75.000 t/Jahr.

Das Sulfitverfahren, das für die Erzeugung von Zellstoff für Cellulosederivate eingesetzt wird, ist mengenmäßig im Vergleich zum Kraftverfahren von geringerer Bedeutung. Jedoch wird hierbei mit einer Produktionskapazität von ca. 1 Mio. t/Jahr die größte Menge an technischem Lignin erzeugt. Die wasserlöslichen Lignine aus dem Sulfitverfahren, sog. Lignosulfonate, weisen jedoch durch die chemische Bindung von Sulfonatgruppen an die Ligninstruktur einen sehr hohen Schwefelgehalt auf.

Das Soda-Verfahren besitzt bei der Herstellung von Zellstoff eine untergeordnete Bedeutung und wird häufig für die Extraktion von Lignin aus Einjahrespflanzen (z.B. Weizenstroh und Zuckerrohr) eingesetzt und basiert auf einer alkalischen Extraktion des Lignins unter Einsatz von Natriumhydroxid. Das Lignin kann aus der Schwarzlauge durch Absenken des pH-Wertes und Ausfällung abgetrennt werden. Soda-Lignins ist schwefelfrei und weist ein jährliches Produktionsvolumen von ca. 3.000 t/Jahr auf.

Ein anderer Ansatz wird beim Hydrolyse-Verfahren für Holzbioraffinerien verfolgt, bei dem die Cellulose und Hemicellulosen in saurem Medium in Glucose und andere Einfachzucker aufgetrennt und isoliert werden. Dabei fällt ein ligninhaltiger Strom als Nebenprodukt an. Aktuell sind Strukturen für entsprechende Bioraffinerien für die kommerzielle Nutzung in Aufbau.

3. Tannin-basierte Systeme

3.1. Kondensationsharze

Kondensierte Tannine aus unterschiedlichen pflanzlichen Rohstoffen haben sich als Substitute in Klebstoffen für den Holzwerkstoffbereich als geeignet erwiesen [2]. Tanninbasierte Klebstoffe konnten bereits auch ohne Einsatz von Formaldehyd mit alternativen Härtern wie z. B. Hexamethylentetramin (Hexamin) [3] oder basierend auf der Autokondensation der Tanninoligomere realisiert werden [4]. Die Verwendung solcher Formulierungen erlaubt eine deutliche Reduzierung der Formaldehydabgabe der hergestellten Holzwerkstoffe.

Die am häufigsten eingesetzten Tanninprodukte für Klebstoffanwendungen sind Extrakte des Kernholzes der Holzart Quebracho und der Rinde der Schwarzholzakazie Mimosa, beide in den tropischen Regionen beheimatet. NadelholZRinde (NH) wurde ebenfalls bereits als potenzielle Quelle von Tanninen identifiziert und von Unterschieden in der chemischen Struktur der Tannine im Vergleich zu Tanninen aus tropischen Holzarten berichtet [5]. NH-Tannine wurden als Procyanidine und Prodelphinidine, Tannine aus Quebracho oder Mimosa als Fisetinidine oder Robinetinidine beschrieben. Durch den höheren Hydroxylierungsgrad weisen NH-Tannine eine höhere Reaktivität gegenüber Formaldehyd auf. NH-Rindenextrakte sind deshalb möglicherweise geeignete Grundstoffe für schnellhärtende Klebstoffformulierungen. Der Einsatz von heimischen NH-Rindenextrakten für Klebstoffanwendungen wurde bereits untersucht [6, 7]. Ihre Eignung wird allerdings durch den hohen Anteil an Nichttanninen (insbesondere Zuckerverbindungen) in den Extrakten beeinträchtigt. Die Anwesenheit von weiteren Stoffen führt zu einem Verdünnungseffekt dieser aktiven Komponenten. Zudem erhöht die Anwesenheit von Polysacchariden die Viskosität der Extrakte. Als geeignete Verwendung solcher Extrakte wurde eine Teilsubstitution des Phenols in Phenol-Formaldehyd-Klebstoffen beschrieben [7].

3.2. Furfurylalkohol-Tannin-Systeme für den Einsatz in Kompositwerkstoffen

Im Bereich der Komposit-Herstellung (faserverstärkte Verbundwerkstoffe) gibt es ebenfalls große Bestrebungen, formaldehydfreie und biobasierte Harze einzusetzen. Die gleichen auf kondensierten Tanninen aufbauenden Systeme, die für die Klebstoffformulierungen verwendet wurden, wurden auch für die Herstellung von flachsverstärkten Verbundwerkstoffen getestet [9]. Der hohe Wasseranteil in den Harzen, der erforderlich ist, um eine geeignete Viskosität für die Herstellung von Verbundwerkstoffen zu erreichen, führte jedoch zum Auftreten von Porosität, zur Verlängerung der Aushärtungszeit und zum Verziehen des Verbundwerkstoffs beim Trocknen.

Die Substitution von Wasser durch Furfurylalkohol (FA) bietet in diesem Zusammenhang einige Vorteile. FA wird derzeit als Lösungsmittel für phenolische Präpolymere (Resole) in vielen Anwendungen und vor allem für Harzanwendungen im Gießerei-Bereich eingesetzt. In Anwesenheit eines Säurekatalysators polymerisiert FA durch Polykondensation. Diese Reaktion ermöglichte die Entwicklung von reinen FA-Harzen [10], die derzeit für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, im Schienenverkehr, in der Holzbearbeitung, in der Automobilindustrie, in der Möbelindustrie, in der Gießerei, in feuerfesten Materialien und im Korrosionsschutz vermarktet werden (Transfuran Chemical/Belgien).

Die Substitution von Phenolen durch TA-Harze bei der Herstellung von glasfaserverstärkten Verbundwerkstoffen führte zu keiner Verschlechterung der mechanischen und brandschutztechnischen Eigenschaften [11]. Tannine und FA reagieren miteinander durch Polykondensation. Dieser Mechanismus wurde bereits auch erfolgreich für die Erzeugung von Hartschäumen in kleinem Maßstab eingesetzt, ist jedoch wegen der starken Exothermie der Reaktion schwer skalierbar. Sowohl tropische als auch einheimischen Nadelholzrinden gewonnene Tannine konnten effizient eingesetzt werden. Die hergestellten Hartschäume weisen eine höhere Feuerbeständigkeit auf als andere Duroplaste, einschließlich Phenolharze [12]. An der BFH konnten durch eine optimierte Harzformulierung und eine angepasste Steuerung des Herstellungsprozesses Tannin-FA-Harze erfolgreich zur Herstellung von Glasfaserverbundwerkstoffen eingesetzt werden, die alle erforderlichen Leistungseigenschaften für ein Anwendung im Komposit-Bereich erfüllen.

4. Lignin-basierte Systeme

In den letzten Jahrzehnten hat die Entwicklung von Holzklebstoffen auf Ligninbasis aufgrund der Vorteile der Verwendung von Lignin große Aufmerksamkeit erlangt. Lignin besitzt durch seine Phenylpropanbausteine eine ähnliche Struktur wie Phenol und ein erhebliches Potential anstelle von Phenol zur Erzeugung nachhaltigerer und biobasierter Klebstoffe für den Holzwerkstoffbereich eingesetzt zu werden. Angesichts der potenziellen Verknappung fossiler Ressourcen und des wachsenden Bewusstseins für Umweltfragen wurde die Herstellung formaldehydfreier Klebstoffe unter Verwendung von Lignin intensiv erforscht. Unterschiedliche Holzarten, aus denen das Lignin gewonnen wurde, und unterschiedliche Extraktionsmethoden führen zu einer Anzahl unterschiedlicher Ligninqualitäten mit abweichenden Eigenschaften. Zudem stellen eine breite Molekulargewichtsverteilung und die geringe Reaktivität eine Herausforderung für die Erzeugung von Klebstoffen dar.

4.1. Lignin als Phenolersatz in PF-Harzen

Trotz struktureller Ähnlichkeiten bestehen im Hinblick auf den Ersatz von Phenol durch Lignin in PF-Harzen vielfältige Herausforderungen. Eine geringere Anzahl freier Positionen im aromatischen Ring und die im Vergleich zu Phenol geringere Reaktivität erschweren die Durchführung von Kondensationsreaktionen. So können beispielsweise deutlich weniger Methylolgruppen in den phenolischen Ring des Lignins eingeführt werden. Dies führt zu einer geringeren Vernetzungseffizienz von Ligninen für einen Einsatz in PF-Harzen und erfordert in der Folge höhere Temperaturen, höhere Katalysatorkonzentrationen und längere Reaktionszeiten [13].

Der Einsatz unterschiedlicher technischer Lignine als Ersatzstoff für die Herstellung von Lignin-Phenol-Formaldehyd-Harzen konnte unter anderem für Kraftlignin und Alkalilignin bestätigt werden. Zudem wurden Modifikationsverfahren erarbeitet, um durch Anhängen

von reaktiven Gruppen die Reaktivität der Ligninmoleküle zu erhöhen. Hierzugehören unter anderem die Demethylierung (Umwandlung der Methoxygruppe in eine OH-Gruppe) und die Hydroxymethylierung (Anhängen einer Methylol-Gruppe in C5-Position durch Reaktion mit Formaldehyd). Auch die Entwicklung formaldehydfreier Klebstoffe auf Lignin-Basis gewinnt zunehmend an Bedeutung. Hierzu zählen Lignin-Furfural-, Lignin-Polyurethan-, Lignin-Tannin- und Lignin-HMF-Systeme.

Im industriellen Maßstab stellen die Markteinführung unterschiedlicher ligninbasierter Klebstoffsysteme für die Erzeugung von Holzwerkstoffen in den vergangenen Jahren, die eine Teilsubstitution bzw. vollständige Substitution von Phenol durch Lignin versprechen, sicherlich Meilensteine dar. Hierzu zählen die Bindemittel basierend auf BioPiva™/UPM sowie NeoLigno®/Stora Enso.

4.2. Lignin als Polyolersatz in Polyurethanen

Eine weitere Gruppe von Polymeren, in denen ein Potential für den Einsatz von Ligninen besteht, stellen Polyurethane dar. Polyurethane werden durch Reaktion zwischen Isocyanat- und Hydroxylfunktionalitäten erzeugt. Durch die phenolischen und aliphatischen OH-Gruppen besitzen Lignine eine Vielzahl von Hydroxylgruppen, die einen Ersatz von Polyolen in Polyurethanen grundsätzlich möglich erscheinen lassen. Der Wunsch, erdölbasierte Komponenten durch nachhaltige und biobasierte Alternativen zu ersetzen, ist auch hier ein wichtiger Innovationstreiber.

Bislang wurde von Ligninanteilen in PU-Systemen im Labormaßstab in einer Größenordnung von max. 30% berichtet [14]. Eine Modifikation der OH-Gruppen, z.B. «Verlängerung» via Oxyalkylierung macht diese für weitere Reaktionen mit Isocyanatgruppen zugänglicher. So konnte eine Oxypropylierung aller phenolischen und Teile der aliphatischen Hydroxylgruppen von Organosolv-Lignin z.B. mit Propylencarbonat erzielt werden [15].

Zudem kann ebenso eine Funktionalisierung des Lignins mit Isocyanaten Sinn ergeben. Dabei wird Polyisocyanat mit den OH-Gruppen von Lignin via Urethangruppen verknüpft und Lignin ist nun mit Isocyanat-Gruppen terminiert. Das funktionalisierte Lignin kann dann auch als Teilsubstitut der Polyisocyanate in der PU-Herstellung eingesetzt werden. MDI funktionalisiertes Lignin wurde bereits mit maximal 15% für die Herstellung von PU-Filmen im Labormaßstab eingesetzt. Mit steigendem Ligninanteil erhöhte sich auch der Vernetzungsgrad des Polymers (aufgrund der höheren Funktionalität von Lignin) und die Zugspannung verdoppelte sich auf 17 MPa [16].

Abseits von MDI, kann Lignin auch mit IPDI funktionalisiert werden. Bei der Herstellung eines flexiblen Schaums wurde TDI mit 3-10% IPDI-funktionalisiertem Lignin ersetzt. Die spezifische Druckfestigkeit wurde mit 3% Lignin beibehalten, reduzierte sich aber um einen Drittel bei einem Lignin-Anteil von 10% [17].

Weiter wurden auch Versuche mit TDI und HDI durchgeführt. Das unsymmetrische TDI scheint dabei sehr wenig Zwischenverbindungen im Lignin einzugehen – eine vorteilhafte Eigenschaft, um das Verklumpungsrisiko zu minimieren. Jedoch wurden höhere Gelierungszeiten mit TDI festgestellt im Gegensatz zu HDI und MDI [18]. Die vorgeschlagene Funktionalisierung zwischen Lignin und MDI soll die Homogenität erhöhen und dadurch die Einbringungsrate von Lignin in PUR erhöhen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl technische Lignine als auch Tannine besitzen ein großes Potential zum Einsatz in Harzen und Klebstoffen. Die Variabilität der Biomasse und unterschiedliche Verfahren zur Extraktion oder Isolierung aus forstlicher Biomasse stellen eine Herausforderung für einen unkomplizierten und einheitlichen Einsatz in Polymeranwendungen dar. Durch chemische Modifikation der Ausgangsstoffe können Tannine und Lignine für bestimmte Reaktionen so modifiziert werden, dass deren Reaktivität entscheidend erhöht werden kann. Durch solche Maßnahmen kann z.B. Kraft-Lignin als reaktives Phenolsubstitut in PF-Klebstoffen und PF-Harzsystemen zum Einsatz kommen. Auch in Polyurethanformulierungen besteht durch die Möglichkeit, synthetische Polyole durch Lignin zu ersetzen, ein Ansatz zur Steigerung der Nachhaltigkeit solcher Systeme. Tannine, aus Holz und Rinde verschiedener Baumarten extrahierbar, lassen sich als Bausteine in Kondensationsharzen – auch formaldehydfrei –

einsetzen. In Kombination mit anderen Reaktionspartnern lassen sich zudem brandresistente Tränkharze für den Verbundwerkstoffbereich herstellen. Durch die steigende Nachfrage der Konsumenten nach nachhaltigen, biobasierten und sicheren Produkten eröffnen sich so für chemische Grundstoffe aus forstlicher Biomasse neue Absatzmöglichkeiten.

6. Referenzen

- [1] I. Mayer (2020), ExtraValBois: Geschäftsmodelle zur Extraktion und Valorisation von Holzinhaltsstoffen aus Schweizer Holz, Bundesamt für Umwelt, Schweiz
- [2] A. Pizzi (2008), in: Belgacem, M.N., Gandini, A. (Eds.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable sources*. Elsevier, Oxford, 179-199.
- [3] F. Pichelin, C. Kamoun, A. Pizzi (1999), *Holz als Roh- und Werkstoff* 57, 305-317.
- [4] A. Pizzi, N. Meikleham, B. Dombo, W. Roll (1995), *Holz als Roh- und Werkstoff* 53, 201-204.
- [5] L.J. Porter (1989), in Rowe, J.W. (Ed.), *Natural Products of Woody Plants I*. Springer Verlag, Berlin, 651-690.
- [6] B. Dix, R. Marutzky (1987), *Holz als Roh- und Werkstoff* 45, 457-463.
- [7] E. Roffael, B. Dix, J. Okum (2000), *Holz als Roh- und Werkstoff* 58, 301-305.
- [8] S. Garnier, A. Pizzi, O.C. Vorster, L. Halasz (2001), *Journal of Applied Polymer Science* 81, 1634-1642.
- [9] A. Sauget, A. Nicollin, A. Pizzi (2013), *Journal of Adhesion Science and Technology* 27(20): 2204-2218.
- [10] G. Carotenuto, L. Nicolais (1998), *Advanced Composites Letters* 7(4): 105-109.
- [11] G. Tondi, W. Zhao, A. Pizzi, G. Du, V. Fierro, A. Celzard (2009), *Bioresource Technology* 100(21): 5162-5169.
- [12] A. Niccolin, X. Li, P. Girods, A. Pizzi, Y. Rogaume (2013), *Journal of Renewable Material* 1(4): 311-316.
- [13] M.V. Alonso, M. Oliet, J.M. Pérez, F. Rodríguez, J. Echeverría (2004), *Thermochim Acta*, 419, pp. 161-167.
- [14] S. Laurichesse, L. Averous (2014), *Prog. Polym. Sci.*, 39, 1266.
- [15] H. Jeong, J. Park, S. Kim, J. Lee, N. Ahn (2013), *Fiber Polym.*, 14, 1309.
- [16] I. Kühnel, J. Podschun, B. Saake, R. Lehnen (2015), *Holzforschung*, 69, 531.
- [17] M. Chauhan, M. Gupta, B. Singh, A. K. Singh, V. K. Gupta (2014), *Europ. Polym.*, 52, 32.
- [18] G. G. Wolfgang (2019), *Front. Chem.* 7, 565

Donnerstag, 16. Februar 2023

ALLES HOLZ – Was kommt?

Verpackungen aus Natur-Faserstoffen

Thomas Halletz,
KIEFEL GmbH
Freilassing, Deutschland



Cornelia Frank
KIEFEL GmbH
Freilassing, Deutschland



Verpackungen aus Holz-Faserstoffen

1. Einleitung

Vom Green Deal in 2019 mit dem Ziel die Treibhausgase bis 2050 auf null zu reduzieren, über das Einwegplastikverbot in der EU seit 2021 bis zur aktuellen Mehrwegpflicht für Speisen und Getränke zum Mitnehmen in Deutschland oder der bereits im Entwurf vorliegenden EU-Verpackungs- und Verpackungsabfallverordnung sowie vielen weiteren länderspezifischen Verordnungen und Gesetzen – die Verwendung von gängigen Verpackungsmaterialien, insbesondere Kunststoffen, unterliegt zukünftig weitreichenderen Reglementierungen. Auch hat sich die öffentliche Wahrnehmung stark in den letzten Jahren gewandelt und sieht die Verwendung einiger Verpackungsmaterialien als besonders kritisch. Dadurch setzen sich große Markenhersteller nicht nur europaweit, sondern weltweit ehrgeizige Ziele, um nicht nur gesetzliche Vorgaben zu erfüllen, sondern auch ihren Beitrag für ein nachhaltigeres Morgen zu leisten. Sei es durch die Reduzierung von Primärmaterialien oder die Erhöhung der Recyclingfähigkeit ihrer Produktverpackungen. Auf dem Weg zu kreislauffähigen Lösungen und höheren Recyclingquoten können Holzfaserwerkstoffe als Verpackungsmaterial eine echte Alternative darstellen. Maschinenbauer spielen hierbei eine wichtige Rolle in der Lieferkette und haben die Möglichkeit, maßgeblich dazu beizutragen, dass Verpackungen kreislauffähig werden und die Nachhaltigkeitsziele der Unternehmen erreicht werden.

1.1. Potenziale natürlicher Fasern

Die KIEFEL GmbH, ein international tätiges Maschinenbauunternehmen mit Hauptsitz im bayerischen Freilassing, sieht Nachhaltigkeit als eine solche Chance für die Branche. Aufbauend auf der mehrere jahrzehntelangen Kompetenzen im Bau von Maschinen für die Kunststoffverarbeitung, unter anderem für Verpackungen, hat das Unternehmen vor einigen Jahren deshalb seine Thermoformkompetenz auf Naturfasern als neuen Werkstoff ausgeweitet und eine eigene Maschinenlinie entwickelt.

Ausgangsmaterial für Faserprodukte ist in Wasser gelöster Zellstoff verschiedener Pflanzen oder auch Papier. Dieser wird geformt, gepresst, getrocknet und in formstabile Verpackungen umgewandelt, die im Papierkreislauf verwertbar oder sogar kompostierbar sind. Die Anwendungsfelder sind vielfältig: Von Lebensmittelbehältern und -verpackungen sowie Inlays für elektronische Geräte über Pflanztöpfe, Trinkbecher und deren Deckel bis zu medizinischen Artikeln sind den Einsatzmöglichkeiten kaum Grenzen gesetzt. Durch Zusatzstoffe bzw. natürliche Beschichtungskonzepte können die Produkte zusätzlich Dichtigkeitseigenschaften erlangen.

Durch all diese Eigenschaften können Faserverpackungen je nach Anwendungsfall eine Alternative zu Kunststoffverpackungen sein: Etwa dann, wenn Transparenz für die Verpackung unerheblich ist oder auch dann, wenn sie nur einmalig genutzt und danach schnell entsorgt wird, beispielsweise bei vielen To-Go-Lebensmitteln. Ebenso, wenn die Lebensmittelverpackung keine langanhaltenden Barrieeigenschaften aufweisen muss, um das verpackte Produkt vor Verunreinigung zu schützen oder lange frisch zu halten. Und sie sind auch dort oft die nachhaltigere Wahl, wo kein etabliertes Recyclingsystem vorhanden ist und Verpackungen unzureichend entsorgt bzw. verwertet werden. Andererseits weisen sie ebenfalls eine hohe Recyclingfähigkeit auf – da Umverpackung und Inlay aus einem Material bestehen, entfällt die Materialtrennung.

1.2. Einsatzbeispiele

Die Faserarten reichen von gebleichten oder ungebleichten Frischfasern (z.B. aus Weich- oder Hartholz) bis hin zu Recyclingfasern, für die Kiefel mit führenden Lieferanten der Papierindustrie zusammenarbeitet. Für technische Umverpackungen, die entweder optischen Zwecken oder dem Transportschutz dienen, können post-industrielle Faserabfälle oder aufbereitete Faserabfälle aus Haushalten eine ausreichende Güte bieten. Für Verpackungen mit direktem Lebensmittelkontakt sind Frischfasern die richtige Wahl.

Faserprodukte, die von etablierten Verpackungsproduzenten auf Kiefels Maschinen produziert und von namhaften Markenherstellern vertrieben werden, sind bereits in vielen Ländern im täglichen Einsatz: Im Single-use-Bereich beispielsweise als Eisbecher zum Mitnehmen, Burger-Klappschachteln für Fastfood oder auch in Form vielerlei Becher und Deckellösungen. Doch auch in Anwendungsfeldern, die eine mittlere Haltbarkeit erforderlich machen, z.B. bei Kaffeeverpackungen oder -kapseln, hat das Unternehmen bereits Expertise im Markt sowie bei Verpackungen gefrorener Speisen.

2. Ausblick

In eigenen Material- und Technologiezentren erforscht, testet und optimiert Kiefel mit Hilfe von Versuchsanlagen sowohl gängige als auch neuartige Naturfasermaterialien (u.a. Einjahrespflanzen) sowie Beschichtungskonzepte. Perspektivisch sollen die im jeweiligen Anbaugebiet anfallenden bzw. verfügbaren Pflanzenfasern bzw. -reste oder auch Ernteeabfälle transport- und damit CO₂-sparend verarbeitet werden können. Die Ansätze reichen von Versuchen mit Erdnussschalen bis hin zu Fuchtabfällen z.B. von Äpfeln oder Spargel. Kiefel möchte der führende Lösungsanbieter für die Entwicklung und Umsetzung der nachhaltigsten Technologie werden. Enge Kooperationen mit Bildungseinrichtungen wie der TH Rosenheim, der Hochschule Stuttgart oder verschiedenen Universitäten in den USA sind ein weiterer Baustein, um Innovationen in diesem Bereich voranzutreiben. Dort untersuchen Studierende an der Kiefel-Labormaschine NATUREFORMER KFT Lab verschiedene Rezepturen inklusive Barriereigenschaften anhand von kleinen Testbatches.



Abbildung 1: Kiefel bietet Maschinenlösungen zur Herstellung von Naturfaserpackungen, wie hier den NATUREFORMER KFT 90 Speed. ©KIEFEL GmbH

Prozessoptimierung und Prozessentwicklung für die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen und anderen holzfaserbasierten Materialien

Prof. Dr. Andreas Michanickl
Technische Hochschule Rosenheim,
Labor für Holzwerkstofftechnik,
bayerischer Forschungsschwerpunkt holzbasierte Bioökonomie
Rosenheim, Deutschland



Prozessoptimierung und Prozessentwicklung für die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen und anderen holzfaserbasierten Materialien

1. Einleitung

Holzfaserbasierte Werkstoffe haben in den vergangenen Jahren eine zunehmende Bedeutung erlangt. Holzfasern werden weit verbreitet zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF), Holzfaserdämmstoffen wie z. B. Holzfaserdämmstoffmatten, Holzfaserdämmstoffplatten und Einblasdämmung, holzfaserbasierten Vliesstoffen, Wood Plastic Composites (WPC), holzfaserbasierten Hybridwerkstoffen aber auch zur Herstellung von Papieren, Verpackung und Kultursubstraten eingesetzt.

Ein wesentlicher Vorteil von Holzfasern liegt darin, dass nahezu alle holzbasierten Rohstoffe zu ihrer Herstellung eingesetzt werden können. Holzfasern haben darüber hinaus eine große Vielseitigkeit in der Verarbeitung. Sie können in verschiedenen Nass- und Trockenverfahren verarbeitet werden. Sie erlauben es besonders dünne und hochfeste Strukturen, aber auch sehr dicke und leichte Strukturen herzustellen.

Der hohen Vielseitigkeit von Holzfasern stehen teure, energieintensive und aufwendige Herstellungsverfahren gegenüber, die sich in den letzten zwei Jahrzehnten kaum weiterentwickelt haben. Die zunehmende Nachfrage nach Holz führt zudem zu einer steigen Verknappung und Preissteigerung des Rohstoffs Holz. Dadurch kommen Holzfasern und daraus hergestellten Produkten eine besondere Bedeutung zu.

2. Forschungsansätze zu Holzfasern im Labor für Holzwerkstofftechnik der THR

Im Labor für Holzwerkstofftechnik der THR wurden in den vergangenen sechs Jahren verschiedene Versuchsanlagen errichtet, die es erlauben, die bestehenden Verfahren zur Herstellung von Fasern zu untersuchen und gezielt weiterzuentwickeln sowie auch neue Prozesse und darauf basierend weiterentwickelte sowie auch neue Materialien zu entwickeln.

In diesem Zusammenhang spielen auch Rohstoffe eine große Rolle. Der Fokus liegt dabei auf den bestehenden Rohstoffsportimenten (Holz und Klebstoffe) aber auch auf der Erweiterung der Rohstoffbasis durch Sekundärfasern und der Entwicklung und Untersuchung neuer biobasierter Klebstoffsysteme.

2.1. Rohstoff Holz und andere lignocellulosehaltige Biomasse

Bedingt durch die Folgen des Klimawandels, die steigende Nachfrage nach Holz durch andere Industrien und den steigenden Konsum sind Holz und andere lignocellulosehaltige Biomasse eine zunehmend knappe und teurer werdende Ressource.

In Zukunft wird somit weniger Holz als heute zur Verfügung stehen. Wir werden aus weniger Holz mehr machen müssen und die zur Verfügung stehende Menge wird überwiegend von schlechterer Qualität sein.

Der effizienten Nutzung von Holz, insbesondere auch von qualitativ eher schwierigen Holzarten sowie der Erschließung neuer Rohstoffquellen kommt daher eine große Bedeutung zu. Im Rahmen des Projektes «Faserkreis» wurde ein Verfahren zur Wiedergewinnung von Fasern aus Altholz entwickelt.

Mit diesem lassen sich aus MDF-haltigem Altholz wie z. B. Altmöbeln, Laminatfußboden und Produktionsresten Fasern wiedergewinnen und für verschiedene Einsatzbereiche wieder aufbereiten.

Ein Beispiel für die Erschließung der stofflichen Nutzung bisher ungenutzter Biomasse ist Eukalyptusrinde. Diese fällt auf der iberischen Halbinsel und besonders auch in Südamerika in großen Mengen beim Anbau von Eukalypten an. Bisher wird diese in der Regel verbrannt. Auf Basis der in der Zusammenarbeit mit einem südamerikanischen Partner gewonnenen Erkenntnisse konnte ein Verfahren zur Gewinnung von Fasern aus Eukalyptusrinde und darauf die Herstellung von Faserdämmstoffmatten entwickelt werden.



Abbildung 1: Fasern aus Eukalyptusrinde nach mechanischer Zerkleinerung ohne Druckbeaufschlagung. Aus Eukalyptusrinde lassen sich sehr stark verzweigte Fasern herstellen, die sich sehr gut auch ohne Bindemittel verarbeiten lassen.

2.2. Klebstoffe und Bindemittel

Ein wesentlicher Fokus der bisher durchgeführten Arbeiten waren Untersuchungen zur Wirkungsweise von Bindefasern in Holzfaserdämmstoffmatten und holzfaserbasierten Vliesstoffen. Hierbei wurde insbesondere das Zusammenwirken von Holzfasern und Bindefasern analysiert und optimiert. Versuche mit ersten biopolymer-basierten Bindefasern wurden durchgeführt. Mit der Firma AUTEFA aus Friedberg, Bayern, konnten zunächst erste leistungsfähige holzfaserbasierte Vliesstoffe hergestellt werden. Darauf basierend wurde die Entwicklung und Erprobung einer biopolymerbasierten BicoFaser für die Herstellung von Holzfaserdämmstoffmatten und Holzfaservliesstoffen vorangetrieben. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte das Wirkprinzip von BicoFasern in Holzfaserdämmstoffmatten genau nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass in der Produktion von Holzfaserdämmstoffen bisher falsch eingestellte BicoFasern verwendet werden, die zu einem sehr hohen Verbrauch dieser Fasern führen. Der Verbrauch an BicoFasern im industriellen Maßstab konnte dadurch um zum Teil mehr als die Hälfte reduziert werden. Eine biopolymerbasierte BicoFaser mit guter Performance konnte entwickelt werden.

Die neue BicoFaser lässt die Herstellung von Holzfaserdämmstoffmatten mit gleichem Bindefasergehalt und gleichen Eigenschaften zu wie mit herkömmlichen Fasern. Damit können Holzfaserdämmstoffe vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden.

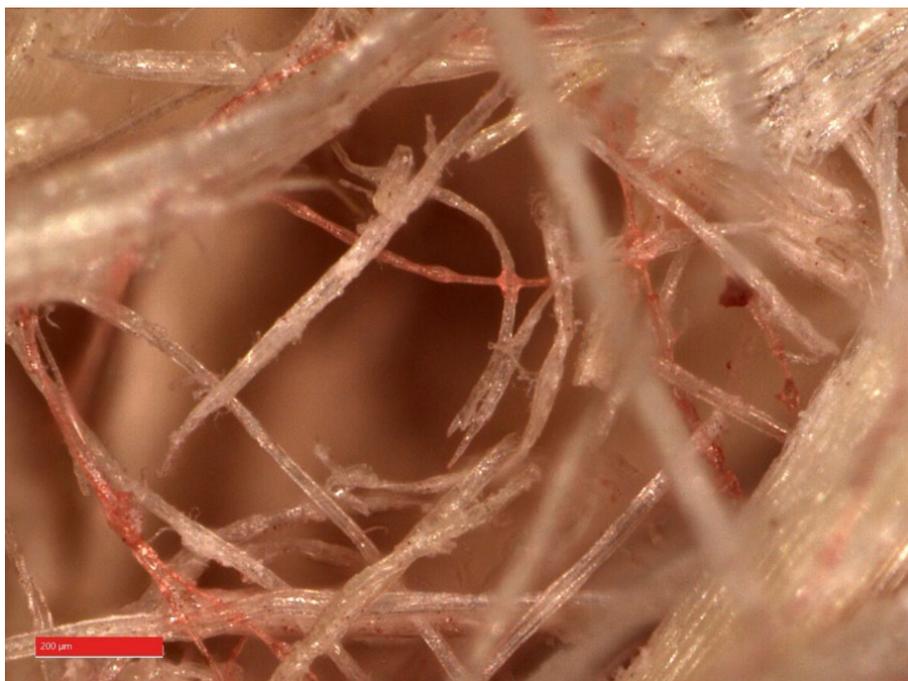


Abbildung 2: Holzfaserstoff mit rot eingefärbten Bindefasern (Bicofasern). In der Mitte der Abbildung ist ein Verklebungspunkt zwischen Holz- und Bico-faser erkennbar. Der Mantel der Bico-faser ist geschmolzen und hat an der Holz-faser gebunden. Der Kern der Bico-faser ist nicht geschmolzen.

2.3. Mechanisch verstellbare Kompressionsförderschnecke

Beim thermo-mechanischen Holzaufschluss (TMP-Verfahren) müssen die Hackschnitzel bzw. das für den Mahlprozess zerkleinerte Material so in den Kocher geführt werden, dass der Druck aus diesem nicht entweicht. Dies geschieht durch eine so genannte kontinuierliche Kompressionsförderschnecke. Bisher ist diese nicht verstellbar. Die Materialverdichtung erfolgt unabhängig vom den Eigenschaften des eingesetzten Rohstoffs.

Die Versuchsanlage im Labor für Holzwerkstofftechnik wurde nun mit einer mechanisch verstellbaren Kompressionsförderschnecke ausgestattet, die es erlaubt, den Kompressionsdruck besonders in Abhängigkeit vom zugeführten Material zu verstellen. Ziel dabei ist es zu untersuchen, welche Einstellung im Hinblick auf Leistungsaufnahme des Antriebsmotors, Faserkompression, erzeugter Faserqualität und abgequetschtem Wasser optimal ist.

2.4. Entwicklung von Mahlscheiben

In enger Zusammenarbeit mit der Firma Andritz konnten in den letzten Jahren Mahlscheiben für die Herstellung von Fasern für die Produktion von MDF (Mitteldichte Faserplatten) entwickelt werden, die zu einer deutlichen Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs geführt haben. Diese Mahlscheiben lassen heute die Herstellung von Fasern z. B. für Standard-MDF aus Nadelholz mit ca. 90 kWh bis ca. 120 kWh pro Tonne atro Fasern und aus Laubholz mit ca. 80 kWh bis 100 kWh pro Tonne atro Fasern zu. Vor 15 Jahren lagen diese Werte noch doppelt so hoch.

Das vom BMEL geförderte Projekt «Faseroptimierung» hat zur Entwicklung von ersten, auf die Faserdämmstoffproduktion abgestimmten Mahlscheiben geführt, die bereits in mehreren Werken im industriellen Maßstab getestet werden. Das Projekt hat gezeigt, dass für die Produktion von Holzfaserdämmstoffen ganz andere Mahlscheiben benötigt werden als für die Produktion von MDF. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch speziell auf die Faserdämmstoffproduktion abgestimmte Mahlscheiben der Energieverbrauch reduziert und die Faserqualität signifikant verbessert werden können.

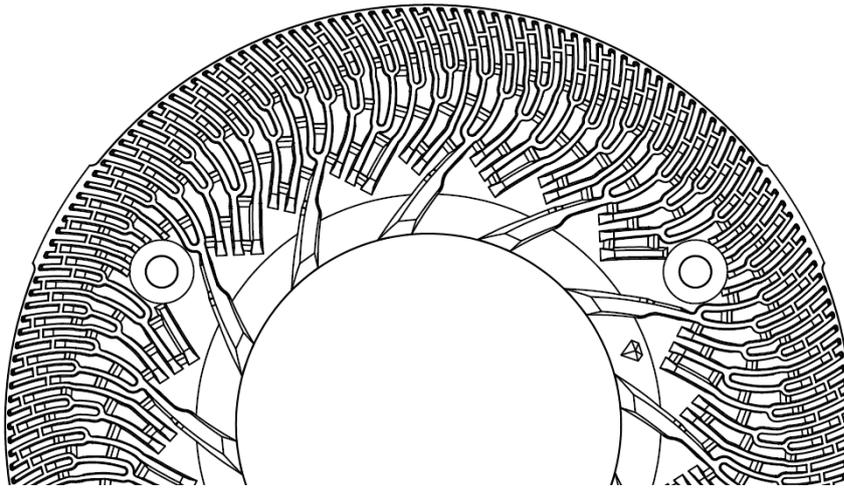


Abbildung 3: 12''-Mahlscheibenmuster einer von der Arbeitsgruppe neu entwickelten Mahlscheibengeometrie.

2.5. Vergleich verschiedener Verfahren zur Herstellung von Holzfasern

Zur Herstellung von Holzfasern kommen neben dem mit Druck und erhöhter Temperatur arbeitenden TMP-Verfahren (Thermo-Mechanical-Pulp) teilweise auch das drucklos arbeitende RMP-Verfahren (Refiner-Mechanical-Pulp) und auch das Retruder-Verfahren zum Einsatz.

Derzeit stattfindende Untersuchungen zielen darauf ab, diese Verfahren im Hinblick auf ihren Einsatz zu evaluieren und darauf basierend ggf. weiterzuentwickeln.

2.6. Entwicklung eines modifizierten Verfahrens zur druckfreien Zerkleinerung von Holz und anderer lignocellulosehaltiger Biomasse

Die Erkenntnisse aus der Untersuchung und Optimierung bestehender Verfahren zur Herstellung von Holzfasern haben zur Entwicklung eines modifizierten drucklosen Zerkleinerungsverfahrens geführt.

Mit diesem Verfahren lassen sich Fasern für verschiedenste Einsatzzwecke mit im Vergleich zum TMP-Verfahren deutlich geringerem Aufwand herstellen.

2.7. Fraktionierung von Holzfasern

Bisher können Holzfasern aufgrund ihrer Morphologie außer mit aufwändigen Analyseverfahren im trockenen Zustand nicht in verschiedene Fraktionen getrennt werden. Da Holzfasern anders als Späne nicht rieselfähig sind, neigen sie sehr stark zur Bildung von Faseragglomeraten.

Besonders beim Recycling von aus MDF hergestellten Produkten kommt der Abtrennung von Störstoffen und der Trennung von Faserfraktionen eine große Bedeutung zu um wiedergewonnene Fasern einer optimalen Verwendung zuzuführen. Besonders die Abscheidung von kleineren Beschichtungsbestandteilen und noch vorhandenen Faseragglomeraten war bisher nicht möglich.



Abbildung 4: Fraktionierte, aus Altmöbeln und Laminatfußboden wiedergewonnene Fasern nach Abscheidung von Störstoffen.

2.8. Herstellung von mikrofibrillierter und nanofibrillierter Cellulose

Die Herstellung und der Einsatz von mikrofibrillierter Cellulose (MFC) und nanofibrillierter Cellulose (NFC) werden seit Jahren weltweit intensiv erforscht. In der Herstellung von Holzwerkstoffen haben diese bisher aber kaum Eingang gefunden. Mit einer so genannten Low-Consistency-Refiner Anlage (LC-Anlage), bei der druckfrei in Wasser suspendierter Zellstoff bei Stoffdichten zwischen 2 und 4 Prozent gemahlen wird, soll nun der Einsatz gezielt auf die Anforderungen in der Holzwerkstoffherstellung eingestellte MFC und NFC entwickelt werden, um die Eigenschaften von biobasierten Klebstoffsystemen zu verbessern.

2.9. Entwicklung neuer Werkstoffe

Im Rahmen des Projektes «LFWC» wurden grundlegende Erkenntnisse zur Herstellung und Verarbeitung von holzfaserbasierten Compounds erarbeitet. Gemeinsam mit einem Automobilzulieferer wurde ein Kabelkanal aus Holzfasern entwickelt, der zeigt, dass sich mit Holzfasern Bauteile herstellen lassen, die zugleich hochfeste und sehr dünne Strukturen aufweisen und damit sehr ressourceneffizient sind. Dieser Kabelkanal aus einem Holzfaser-Kunststoff-Compound für den Automobilbau hat sehr dünne Wandstärken von 1,5 mm bis 2,5 mm und eine sehr komplexe Geometrie. Das Bauteil hat klapp- und einrastbare Halterungen für Kabel und Schnapphaken zur Fixierung des gesamten Bauteils. Der Holzanteil liegt bei ca. 40 % und besteht aus sehr feinen TMP-Fasern (kürzer als 1 mm) aus Fichtenholz.

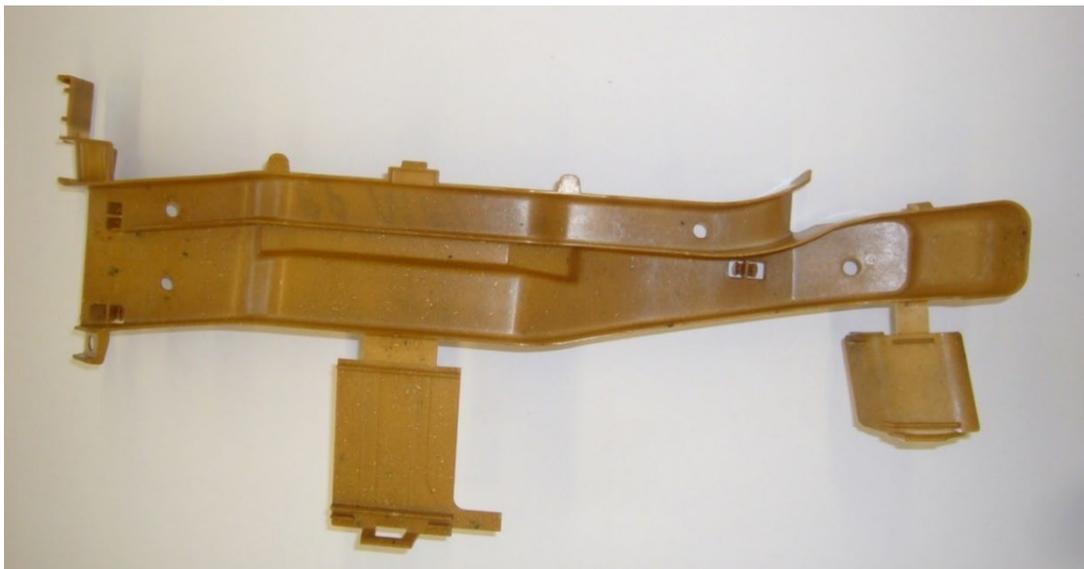


Abbildung 5: Ressourceneffizienter Kabelkanal aus Holzfaser-Kunststoff-Compound für den Automobilbau mit sehr dünnen Wandstärken von 1,5 mm bis 2,5 mm und komplexer, dreidimensionaler Geometrie. Das Bauteil verfügt über klapp- und einrastbare Halterungen für Kabel sowie Schnapphaken zur Fixierung des gesamten Bauteils. Holzanteil ca. 40 % feine Fasern (kürzer als 1 mm) aus Fichtenholz.



Abbildung 6: Erste hergestellte holzfaserbasierte Vliesstoffe.

Erstmals wurde im «One-Shot»-Verfahren ein werkzeugfertig fallendes Bauteil hergestellt, das aus einem konsolidierten großtechnisch hergestellten Holzfaservliesstoff und aus angespritzten Verstärkungs- und Verbindungsstrukturen auf Basis eines Holzfasercompounds besteht. Die Arbeiten haben gezeigt, dass Holzfaservliesstoffe für solche Bauteile prinzipiell gut geeignet sind, aber noch nicht optimal hergestellt werden können. An der Optimierung der Herstellung solcher Holzfaservliesstoffe arbeitet die Gruppe in verschiedenen Projekten und mit verschiedenen Partnern.

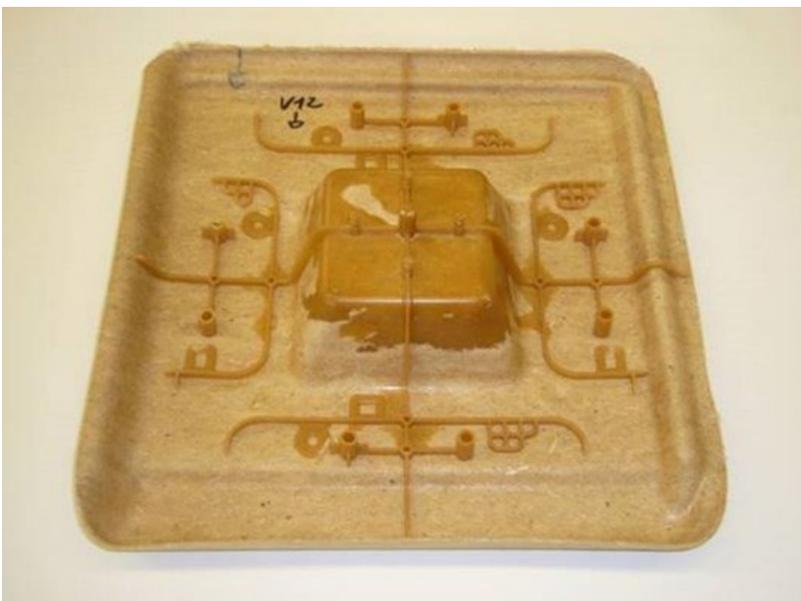


Abbildung 7: Unbeschichtetes Testbauteil aus konsolidiertem Holzfaservliesstoff mit angespritzten Strukturen (Versuche mit Industriepartnern u. a. AUTEFA, ANDRITZ Fiedler, FRIMO)

3. Zusammenfassung und Ausblick

Holzfasern haben zur Herstellung von Werkstoffen und Materialien für verschiedenste Anwendungen ein hohes Potential. Bestehende Verfahren zur Herstellung von Holzfasern und holzfaserbasierte Werkstoffe bieten zahlreiche Möglichkeiten zur Weiterentwicklung. Damit können Holz- und andere lignocellulosehaltige Fasern günstiger aus einer noch größeren Rohstoffbasis hergestellt und noch vielseitiger eingesetzt werden.

4. Literaturverzeichnis

- [1] OBERMEIER, F., SCHUMACHER, M., BARTH, S., KARLINGER, P., MICHANICKL, A., SCHEMME, M., ALTSTÄDT, V.: Verstärkung von Polypropylen mit Holzfasern durch Direkt-Compoundierung; Zeitschrift: Kunststofftechnik / Journal of Plastics Technology; Volume 17; 2021; S. 87-111 (<https://doi.org/10.3139/o999.02022021>)
- [2] MICHANICKL, A.: Nonwovens made from wood, International Wood Days 2020, LAMK, Lahti, Finland, 2020.
- [3] BARTH, S., SCHMID, T., MICHANICKL, A.: Refiner Plates – An Introduction to Wood Fibre Based Materials, International Wood Days 2020, LAMK, Lahti, Finland, 2020.
- [4] SCHMID, T., BARTH, S., MICHANICKL, A.: Wood fiber reinforced composites & nonwovens. New perspectives on the usage of wood fibers., International Wood Days 2020, LAMK, Lahti, Finland, 2020.
- [5] OBERMEIER, F., SCHUMACHER, M., BARTH, S., KARLINGER, P., SCHEMME, M., MICHANICKL, A.: Thermoplastische Hybridverbunde mit Holzfaserverstärkung: Leichtbau mit Naturfasern, Plastverarbeiter 2/2020, S. 34-36, Hüthig GmbH, Heidelberg, 2020.
- [6] SCHUMACHER, M., OBERMEIER, F., BARTH, S., KARLINGER, P., SCHEMME, M., MICHANICKL, A.: Eignung von thermo-mechanischen Holzfasern (TMP) in Vliesstoff-hybridverbunden, 19. Holztechnisches Kolloquium, Technische Universität Dresden, 2020. Veröffentlicht in der Zeitschrift: Holztechnologie; Volume 2; 2020; S. 40-45
- [7] BARTH, S., MICHANICKL, A.: Study of Refiner Plates as a Possibility to Improve the Production of Wood Fibre Insulation Materials. SWST 62nd International Convention, SWST, Fish Camp, California, USA. 2019.
- [8] MICHANICKL, A.: Holzfasern zur Herstellung neuer Werkstoffe, Vortrag anlässlich des Branchentag «Holz», im TiroLignum, Absam, Österreich am 25.06.2019
- [9] MICHANICKL, A.: Hybrid Materials made from wood, International Wood Days 2019, LAMK, Lahti, Finland, 2019.
- [10] SCHMID, T., BARTH, S., MICHANICKL, A.: Wood Fiber Composites for Lightweight Construction, International Wood Days 2019, LAMK, Lahti, Finland, 2019.
- [11] BARTH, S., SCHMID, T., MICHANICKL, A.: Importance of Refiner Plates for Wood Fiber Insulation Materials, International Wood Days 2019, LAMK, Lahti, Finland, 2019.
- [12] BARTH, S., SCHMID, T., MICHANICKL, A.: Bindemittleinsatz und Mahlplattenentwicklung in der Herstellung von Holzfaserdämmstoffen (The Use of Binding Agents and the Development of Grinding Plates in the Production of Wood Fibre Insulation Materials). 13. Holzwerkstoffkolloquium, IHD Dresden, 12–13 Dec., Dresden, Germany, 2019.
- [13] OBERMEIER, F., SCHUMACHER, M., BARTH, S., KARLINGER, P., SCHEMME, M., MICHANICKL, A.: Thermoplastische Holzfaservliese für Hybridverbunde (Thermoplastic Wood Fibre Fleece for Hybrid Composites), 13. Holzwerkstoffkolloquium, Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD), Dresden, 2019.
- [14] OBERMEIER, F., SCHUMACHER, M., BARTH, S., KARLINGER, P., SCHEMME, M., MICHANICKL, A.: Thermoplastische Hybridverbunde mit Holzfaserverstärkung (Thermoplastic Hybrid Composites with Wood Fibre Reinforcement). Internationale Fachtagung 26. Technomer (International Technomer Symposium), TU Chemnitz, Chemnitz, 2019.
- [15] OBERMEIER, F., SCHUMACHER, M., BARTH, S., KARLINGER, P., SCHEMME, M., MICHANICKL, A.: Thermoplastische Hybridverbunde mit Holzfaserverstärkung, Forschungsbericht 2019, Technische Hochschule Rosenheim, 2019.
- [16] BARTH, S., VEGA, J., FUENTEALBA, C., MICHANICKL, A.: Fiber Insulation Materials from Eucalyptus Bark Fibers – First Results, Pro Ligno, 14, 4, 3-8, 2018.

- [17] MICHANICKL, A., SCHEMME, M.; KARLINGER, P.: Sustainable processes and materials for light-weight construction based on wood, Proceedings of the 5th International Conference on Processing Technologies for the Forest and Bio-based Products Industries (PTF BPI 2018) Freising/Munich, September 20-21, 2018
- [18] MICHANICKL, A., BARTH, S., VEGA, J., FUENTEALBA, C.: Fibre Insulation Materials from Eucalyptus Bark Fibres – First Results. 5th International Conference on Processing Technologies for Forest and Bio-based Industries (PTF BPI 2018), Sept. 20 – 21 September, Freising, 2018.
- [19] BARTH, S., MICHANICKL, A.: Möglichkeiten zur Optimierung der Herstellung von Holzfaserdämmstoffen (Possibilities to Optimize the Production of Wood Fibre Insulation Materials). 3. Kooperationsforum Holz als neuer Werkstoff, Anwendungen und Materialien (Cooperation forum: Wood as a New Material, Uses and Materials), Bayern Innovativ, 22 November, Regensburg (Salzstadel), Germany, 2018.
- [20] MICHANICKL, A.: Neue Ansätze zur Herstellung von holzfaserbasierten Werkstoffen und mögliche Einsatzgebiete, 12. Holzwerkstoffkolloquium – IHD Dresden, 14. und 15. Dezember 2017
- [21] MICHANICKL, A.: HDF-Developments – Ensuring Quality to Meet The Global Standards, China Laminate Flooring Symposium, 6th-7th March. Beijing, China. (2000)
- [22] MICHANICKL, A. und C. BOEHME: Recycling von MDF und daraus hergestellten Produkten. MDF-Magazin. Pages 52 - 59. DRW-Verlag. (1997)
- [23] MICHANICKL, A.: Recycling of Laminated Boards, Tappi Asian International Laminates Symposium. Hong Kong, China. (1997)
- [24] MICHANICKL, A. und C. BOEHME: Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffen. HK Holz und Kunststoffverarbeitung. Pages 50 – 55. (1996)
- [25] MICHANICKL, A. und B. DIX: Refuse Furniture and Waste Paper as Raw Material for Wood Based Panels. International Conference on Progress in Forest Products Research. Göttingen, Germany. (1995)
- [26] MICHANICKL, A.: Recovery of Fibres and Particles from Wood Based Products. IUFRO XX World Congress. Tampere, Finnland. (1995)

Nachhaltigkeit in der Holzbranche: Mittelstand im Spannungsfeld zwischen Anforderungen, Transparenz und Kommunikation

Peter Weidenhammer
STEICO SE
Feldkirchen, Deutschland



Nachhaltigkeit in der Holzbranche: Mittelstand im Spannungsfeld zwischen Anforderungen, Transparenz und Kommunikation

1. Die Bedeutung der Nachhaltigkeit

Obwohl die genauen Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und der Zunahme von Extremwetterereignissen noch nicht geklärt sind, sieht der Deutsche Wetterdienst einen bewiesenen Zusammenhang¹. Das bedeutet, dass die Umwelt mit der steigenden Erdtemperatur noch stärker von Gefahrenquellen beeinträchtigt sein wird, die durch den Klimawandel entstehen oder durch den Klimawandel verstärkt werden.

Meldungen zu Extremwetterereignissen, die durch den Klimawandel öfter auftreten, gehen um die Welt, seien es Dürren, Waldbrände oder Fluten. Viele Menschen sehen den Umgang der Menschheit mit ihren natürlichen Ressourcen kritisch und erkennen Handlungsbedarf. In einer Umfrage des Umweltbundesamtes sagten 65% der Befragten aus, dass Umwelt- und Klimaschutz sehr wichtig seien. Eine Mehrheit der Befragten war der Meinung, dass diese Themen in vielen Politikfeldern einen höheren Stellenwert innehaben sollten². Auch in ihrem Konsumverhalten sieht ein großer Teil der Bevölkerung (80%) Nachhaltigkeit als einen wichtigen oder sehr wichtigen Faktor, während jedoch knapp über die Hälfte der Befragten (54%) kein Vertrauen in ein Etikett «klimaneutral» haben³. Da diese Studie über die Utopia-Plattform durchgeführt wurde, die das Ziel hat «...so viele Menschen wie möglich [zu] inspirieren, nachhaltiger zu leben...», legen die Befragten wahrscheinlich eher einen überdurchschnittlich hohen Wert auf die Nachhaltigkeit ihrer konsumierten Produkte. Trotzdem lässt sich sehr gut sehen, dass Nachhaltigkeit bei Kunden ein relativ wichtiges Thema ist.

Auch die Gesetzgeber haben erkannt, dass es ein wichtiges Anliegen ist, die Umwelt zu schützen, dass wirtschaftlich und gesellschaftlich vorteilhafte Folgen hat. Aus diesem Grund hat sich die EU das Ziel gesetzt, bis 2030 ihre CO₂-Emissionen im Vergleich mit 1990 um 55% zu reduzieren und bis 2050 als erster Kontinent die Klimaneutralität zu erreichen. Dies soll durch den EU Green Deal geschehen, dessen Bestandteile viele Aspekte im Sinne der Nachhaltigkeit verändern sollen. Der Einfluss dieses Maßnahmenpakets reicht von Vorgaben für Bauprodukte bis zur Informationsabfrage im Finanzsektor.

2. Gesetzgebung als Basis für nachhaltige Praxis

Als Teil des europäischen Green Deals werden die CO₂-Emissionen des Kontinents reduziert, indem neue Gesetze implementiert werden und Forschung zu umweltfreundlichen Alternativen finanziell gefördert wird. Um die Ziele des Green Deals zu erreichen, werden unter anderem das Emissionshandelsgesetz überarbeitet, ein sozialer Klimafonds eingerichtet und die Rolle von Wäldern als natürliche Kohlenstoffsinken gestärkt. Außer diesen Initiativen, die direkt aus dem EU Green Deal kommen, werden andere Sektoren im gleichen Sinne verändert. Ein wichtiger Aspekt ist die Bewegung des Finanzsektors in eine nachhaltigere Richtung durch den Aktionsplan Sustainable Finance⁴.

¹ DWD beim Extremwetterkongress 2022: *Was wir über das Extremwetter in Deutschland wissen*. Offenbach am Main, Deutschland

² BMUV (2022): *Umweltbewusstsein in Deutschland 2020*. Berlin, Deutschland

³ Utopia GmbH (2022): *Die Grüne Mitte – Wie Nachhaltigkeit den Konsum grundlegend verändert*. München, Deutschland.

⁴ Wildhirt, D. (2021): *Sustainable Finance Strategie der EU-Kommission – der zweite EU-Aktionsplan*. <https://blogs.pwc.de/de/planet-fsc/article/224203/sustainable-finance-strategie-der-eu-kommission-der-zweite-eu-aktionsplan/>

Auch für die Überarbeitung der EU-Bauproduktenverordnung spielt die stärkere Berücksichtigung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten eine Rolle. Unter anderem wird ein Mindestanteil an Recyclingmaterial für manche Produkte gefordert. Außerdem müssen Produzenten mehr Informationen zu den Umweltauswirkungen ihrer Produkte liefern und für Kunden bereitstellen⁵. 2022 wurde ein Verordnungsvorschlag der Bauproduktenverordnung publiziert und diskutiert. März 2023 soll eine Abstimmung zu der finalen Version der neuen Bauproduktenverordnung stattfinden⁶.

Die EU-Verpackungsrichtlinie 2018 ist vor allem für international handelnde Firmen relevant, da diese besagt, dass die Mitgliedstaaten Maßnahmen implementieren müssen, die zur Folge haben, dass der Anteil wiederverwendbarer Verpackungen und die Wiederverwendung von Verpackungen steigen. Langfristig soll somit dafür gesorgt werden, dass keine neuen Verpackungen in Verkehr gebracht werden und die Menge Verpackungsabfall nicht steigt. Da alle Mitgliedstaaten das Recht haben, das Ziel mit ihren eigenen Ansätzen zu erreichen, gibt es seit 2020, als diese Richtlinie in nationales Recht umgesetzt werden musste, eine Vielzahl neuer Regularien, die international handelnde Unternehmen vor immer neue Herausforderungen stellen.

Der oben erwähnte Aktionsplan Sustainable Finance enthält die EU-Taxonomieverordnung, Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) und die europäischen Nachhaltigkeitsberichterstattungsstandards (European Sustainability Reporting Standards – ESRS). Die CSRD wurde im November 2022 endgültig beschlossen und ersetzt die Non-financial Reporting Directive (NFRD), um eine aussagekräftigere Nachhaltigkeitsberichterstattung europäischer Firmen zu erreichen. Dies ist notwendig, da die Zielsetzung des EU Green Deals ein stärkeres Engagement verlangt. Die NFRD bestimmt nur, dass die betroffenen Firmen Informationen zu ihrem Geschäftsmodell, Firmenpolitik, Geschäftsergebnis und Risiko, sowie Risikomanagement liefert. Dadurch besteht eine enorme Flexibilität bezüglich der Erklärungen, die die Firmen liefern. Diese Lücke soll mit der CSRD und den geplanten europäischen Nachhaltigkeitsberichterstattungsstandards geschlossen werden⁷.

Insgesamt befasst sich die CSRD vor allem damit, das Geschäftsmodell einer Firma in den geschaffenen Rahmen für Nachhaltigkeit einzuordnen. Es werden Informationen abgefragt, wie die strategische Ausrichtung einer Firma ihre Nachhaltigkeit beeinflusst und wie Chancen und Risiken im Bereich der Nachhaltigkeit die Aktivitäten der Firma über verschiedene Zeithorizonte beeinflussen. Die Länder haben 18 Monate, um die CSRD in nationales Recht zu überführen, damit die ausgeweitete Nachhaltigkeitsberichterstattung zum ersten Mal 2025 für das Finanzjahr 2024 erfolgen kann⁸. Im Zuge der Berichterstattung nach CSRD müssen die geplanten European Sustainability Reporting Standards (ESRS) angewendet werden, die Daten zu den Themen Ökologie, Gesellschaft und Governance abfragen. Für Firmen, die bereits nach anderen Standards berichten, vor allem die Global Reporting Initiative (GRI) sollte diese Änderung keine große Herausforderung darstellen, da sich die European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG) an existierenden Nachhaltigkeitsberichterstattungsstandards orientiert hat⁹.

⁵ Abend, K.; Breitschaft, G. (2022, 28. Juli): *Legislativvorschlag für eine Bauproduktenverordnung veröffentlicht*. <https://www.dibt.de/de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/legislativvorschlag-fuer-eine-neue-bauproduktenverordnung-veroeffentlicht>

⁶ Ragonnaud, G. (2022, 15. Dezember): *Revision of the Construction Products Regulation (REFIT)*. <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-revision-of-the-construction-products-regulation>

⁷ European Parliament (2021): *Non-financial Reporting Directive*. Briefing – Implementation Appraisal.

⁸ Deutsches Rechnungslegungs Standards Committee e.V. (2022, 29. November): *Europäischer Rat billigt CSRD*. <https://www.drsc.de/news/europaeischer-rat-billigt-csrd/>

⁹ GRI (2022, 24. November): *Interoperability between ESRS and GRI Standards good news for reporters*. <https://www.globalreporting.org/news/news-center/interoperability-between-esrs-and-gri-standards-good-news-for-reporters/>

Die momentane Nachhaltigkeitsberichterstattung setzt sich aus der NFRD und der EU-Taxonomie zusammen. Firmen, die nach der NFRD verpflichtet sind, nicht-finanzielle Informationen zu publizieren, sind zu diesem Zeitpunkt auch verpflichtet, eine Erklärung zu ihrer Performance nach den Vorgaben der EU-Taxonomie abzugeben. 2022 mussten die betroffenen Firmen die Taxonomiefähigkeit ihrer finanziellen Flüsse deklarieren, bezogen auf die ersten beiden der 6 Umweltziele der EU: «Klimaschutz» und «Anpassung an den Klimawandel». Das bedeutet, dass geprüft wurde, welche Finanzflüsse in einer Firma mit Operationen in Verbindung stehen, die laut EU-Taxonomie einen positiven Beitrag zu den genannten Umweltzielen leisten können.

Mit dem Bericht für das Finanzjahr 2022 muss die Taxonomiekonformität der Finanzflüsse erklärt werden. Der Unterschied zur Taxonomiefähigkeit besteht darin, dass die Aktivitäten nun auf ihre tatsächliche Nachhaltigkeit untersucht werden, anstatt nur das Potenzial der Nachhaltigkeit zu erwägen. Wenn eine Aktivität taxonomiefähig ist, müssen die technischen Bewertungskriterien geprüft werden, dann die Do-No-Significant-Harm (DNSH) Kriterien und zum Schluss die sozialen Mindestanforderungen. Die technischen Kriterien sind die Mindestanforderungen, die mit der Aktivität erreicht werden müssen, um einen positiven Beitrag zu leisten. Die DNSH-Kriterien müssen eigenhalten werden, damit keines der 5 übrigen Umweltziele durch das Erreichen des ersten Umweltziels behindert wird. Die sozialen Mindestanforderungen repräsentieren die Menschen- und Arbeiterrechte, die eingehalten werden müssen, um die soziale Nachhaltigkeit nicht aus den Augen zu verlieren¹⁰.

2023 werden voraussichtlich auch die restlichen 4 Umweltziele der EU in die Taxonomie aufgenommen: «Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen», «Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft», «Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung» und «Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und Ökosysteme». Zugleich soll die EU-Taxonomie ein flexibles Instrument sein, das auf weitere Aktivitäten ausgeweitet werden kann, um ein realistischeres Bild der Nachhaltigkeit europäischen Finanzflüsse zu erhalten und Investoren vor Greenwashing und falschen Aussagen zu schützen.

Die objektive Bewertung und Vermeidung von Umweltauswirkungen wird nicht nur firmenbezogen immer wichtiger, sondern auch auf Produktebene. Vor allem im Bausektor besteht ein reges Interesse in nachhaltiges Bauen und die korrekte Modellierung möglicher Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus von Gebäuden. Der Bausektor ist für 37% der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich und 40% des europäischen Energiebedarfs, der zu 80% aus fossilen Energieträgern gedeckt wird¹¹. Um das Ziel des Pariser Klimaabkommens zu erreichen, die Klimaerwärmung auf 1,5° C zu begrenzen, bedarf es eines enormen Umlenkungsaufwands¹². Laut einer Studie der DGNB entstehen zwischen einem Drittel und der Hälfte der CO₂-Emissionen eines Gebäudes während dem Bau. Somit ist eine ökobilanzielle Modellierung vor Beginn des Bauprojektes und eine umweltfachlich korrekte Planung essenziell je mehr CO₂ vermieden werden soll¹³.

Die Zielsetzung, die CO₂-Emissionen des Bausektors zu reduzieren, haben mittlerweile einige Länder gesetzlich festgehalten, beispielsweise in Frankreich mit der Reglementation Environnementale (RE2020) oder der MilieuPrestatie Gebouwen (MPG) in den Niederlanden. Beide dieser Vorgaben geben vor, dass die CO₂-Emissionen für den Gebäudelebenszyklus

¹⁰ European Commission (2021): *EU taxonomy for sustainable activities*. https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

¹¹ United Nations Environment Programme (2022): *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi

¹² United Nations (2021): *The Paris Agreement*. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

¹³ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2021, 10. November): *DGNB veröffentlicht Studie zu CO₂-Emissionen von Bauwerken*. <https://www.dgnb.de/de/aktuell/pressemitteilung/2021/studie-co2-emissionen-bauwerke>

berechnet werden müssen und diese unter einem bestimmten Niveau liegen müssen. Die Herangehensweise ist unterschiedlich aber die Zielsetzung ist gleich. Ähnliche Regularien finden sich Dänemark und kommen in der Zukunft in weiteren Ländern¹⁴.

Um die Daten einheitlich zur Verfügung zu stellen, die für die Modellierung benötigt werden, werden in vielen Fällen Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs – Environmental Product Declarations) benötigt. Diese enthalten eine Ökobilanzierung (LCA – Life Cycle Analysis), die den gesamten Lebenszyklus eines Produktes von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung analysiert und einheitlich präsentiert. Die Darstellung der EPD und welche Inhalte benötigt werden, um einen verlässlichen Vergleich aller Produkte der gleichen Funktion durchführen zu können, werden in den Produktkategorieregeln (PCR – Product Category Rules) dargestellt. Diese enthalten spezifische Rechenregeln für die Ermittlung der Umweltauswirkungen sowie Anforderungen an die Dokumentation¹⁵. Die Anforderungen an die Entwicklung der Produktkategorieregeln wird über die Norm ISO 14025 geregelt, während die Normen ISO 14040 bis ISO 14044 die Durchführung der Ökobilanzierung bestimmen.

Eine Ökobilanz besteht aus 4 Teilen: Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Die Definitionen des Ziels und des Untersuchungsrahmens ermöglichen es dem Ersteller, den Produktlebensweg zu deklarieren, Grenzen zwischen den Produktkategorien festzulegen, Annahmen und Einschränkungen zu kommunizieren und die Bezugsgröße des Endproduktes anzugeben. In der anschließenden Sachbilanz werden die benötigten Ressourcen über den Produktlebensweg angegeben und die resultierenden Outputs. Die Wirkungsabschätzung liefert die Ergebnisse und stellt deren Relevanz in Bezug zu den gewählten Wirkungskategorien (bspw. ODP – Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht nach EN 15804+A1). In der Auswertung werden die Ergebnisse interpretiert, indem die wichtigsten Einflussgrößen für das endgültige Ergebnis identifiziert werden. Aus dieser Nachbereitung werden Schlussfolgerungen gezogen, die in der Ökobilanz am meisten subjektiv geprägt sind, da dieser Schritt eine Priorisierung der Umweltwirkungskategorien voraussetzt¹⁶.

Auf Basis der Ökobilanzierung können EPDs erstellt werden, die den Vorteil haben, dass die PCRs den Schritt der Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens übernehmen. Die große Variabilität unterschiedlicher Ökobilanzierungen funktional gleicher Produkte wird somit durch einheitliche Regeln (e.g. deklarierte Einheiten, Entsorgungsszenarien oder Abschneidekriterien) reduziert¹⁵. Die wohl bekanntesten Regeln für die Erstellung von Umwelt-Produktdeklarationen sind die Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, die in der Norm EN 15804 zu finden sind. Mit korrekt erstellten EPDs können somit bewiesen und geprüfte Umweltinformationen für die Kommunikation bereitgestellt werden sowie konsistente vergleichbare Daten für die Umweltbewertung von gesamten Gebäuden und Quartieren auf der Basis einzelner Produkte¹⁷.

Die Erstellung und Nutzung von EPDs stellt Unternehmen vor einige Herausforderungen: Es gibt je nach Publikationsprogramm, mit dem die EPD veröffentlicht werden soll, unterschiedliche PCRs, die verschiedene Anforderungen stellen. Somit sind EPDs nicht immer auf dem Niveau vergleichbar, das für eine zuverlässige Umweltbewertung notwendig wäre. Es gibt einige Fälle, in denen für bestimmte Produktkategorien noch keine PCRs existieren, weshalb die Ökobilanzen auf der Basis anderer Grundlagen erstellt werden, was zu weiteren Abweichungen führt¹⁸. Des Weiteren gibt es unterschiedliche Programmbetreiber, die

¹⁴ One Click LCA Ltd. (2022, October): *Construction carbon regulations in Europe – Review and best practices*. Helsinki, Finland.

¹⁵ Institut Bauen und Umwelt e.V. (2022): *Produktkategorieregeln für Bauprodukte Teil A (EN 15804+A1), Version 2.2*. Berlin, Deutschland.

¹⁶ Frischknecht, R. (2020): *Lehrbuch der Ökobilanzierung*. Springer-Verlag GmbH, Berlin, Deutschland.

¹⁷ DIN EN 15804:2012+A1:2013 (2014): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*, Beuth-Verlag, Berlin, 2014.

¹⁸ Ingwersen, W. et al. (2013): *Guidance for Product Category Rule Development*. Product Category Rule Guidance Development Initiative, Cincinnati, USA.

selbst unterschiedliche Anforderungen haben, die nicht mit einer EPD nach EN 15804 erfüllt werden können. Beispielsweise fordern einige Programmbetreiber eine Modellierung mit Daten aus der Ecoinvent Datenbank, während andere auf Daten aus der GaBi Datenbank bestehen, die miteinander nicht vereinbar sind¹⁹.

All diese Umstände, mit denen Unternehmen sich auseinandersetzen müssen, erschweren die Lieferung zuverlässiger Daten für Projekte und die realistische Modellierung realer Objekte. Trotz allem bieten jedoch EPDs eine bessere Darstellungsmöglichkeit als unverifizierte individuell erstellte Modelle.

Mittlerweile müssen Unternehmen ab einer bestimmten Größe eine Fülle an Informationen liefern, die eine Einsicht in deren Nachhaltigkeitspraxis liefern sollen, einerseits mit Blick auf den gesamten Konzern, andererseits auf Produktebene. Für Unternehmen ist die Basis dieser Aussagen gleich: Die Tätigkeiten des Unternehmens und die benötigten Rohstoffe beeinflussen die Auswirkungen, die eine Firma in ihrem globalen und lokalen Umfeld verursacht.

3. Nachhaltigkeit im Unternehmen

Die Anforderungen, die in Kapitel 2 zu finden sind, können durch die Unternehmen nur erfüllt werden, wenn die internen Prozesse klar definiert sind und die benötigte Infrastruktur etabliert ist. Außerdem gehört zu den benötigten Ressourcen ein Know-how, das nicht mit den traditionellen fachlichen Anforderungen der Firmen zu tun hat, sondern einen Überblick über die relevante Gesetzgebung benötigt, nicht-finanzielle Berichterstattung und die Modellierung von Produktlebenszyklen. Da die Anforderungen an Firmen im Bereich der Nachhaltigkeit immer weiter steigen werden, bedarf es an dieser Stelle in Zukunft weitreichender Umbauten und Investitionen, um Firmen auf die Zukunft vorzubereiten.

Die kommenden Anforderungen, die mit der Überarbeitung der Verpackungsrichtlinie und der Bauproduktenverordnung einhergehen, verlangen je nach Industriezweig die Aufsetzung komplett neuer Infrastrukturen. Die nationale Umsetzung der Verpackungsrichtlinie funktioniert verlässlich durch die lokalen Organe, die das Recycling gewährleisten. Die betroffenen Firmen müssen hierfür Knowhow im Bereich des internationalen Entsorgungsmangements aufbauen oder einkaufen. Der geforderte Recyclinganteil in gewissen Bauprodukten kann die Hersteller jedoch vor größere Probleme stellen. Da Holzfaser-Dämmstoffe beispielsweise eine verhältnismäßig junge Produktgattung sind, so dass bislang kaum Rückbauaktivitäten stattfinden, müssen Hersteller übergreifende Recyclingprozesse etabliert werden, um ausreichend Rohmaterial für die Herstellung der Recycling-Holzfasern zu erhalten. Gleichzeitig müssen jedoch auch andere Firmen der Holzindustrie den Recyclinganteil erreichen und benötigen somit das gleiche Rohmaterial. Eine industrieweite Initiative zum zentralen Recycling und der zuverlässigen Einführung der Kaskadennutzung auf allen Ebenen ist somit nötig. 2020 wurden deutschlandweit nur 20-25% des gesammelten Altholzes recycelt, auch aufgrund der Gefahr kontaminiertes Holz zu nutzen²⁰ (z.B. mit Holzschutzmitteln behandeltes Holz). Man kann an diesem Wert sehr gut erkennen, dass es beim Altholz Potenzial für das Recycling existiert und mit technisch korrekten Lösungen und passender Koordination eine wichtige Ressource abgeschöpft werden kann, die bis jetzt zum größten Teil ungenutzt ist.

STEICO führt anfallende Nebenprodukte sowie sortenreine Produktionsabfälle erneut dem Produktionsprozess zu. Wurden die Materialien noch nicht mit Additiven behandelt (z.B. Brandschutzmittel), werden diese thermisch in der Energiegewinnung genutzt, um Strom und Wärme zu erzeugen. Vor allem durch die Reduzierung fossiler Brennstoffe als Energiequelle, die durch biobasierte Materialien ersetzt wurden, konnte STEICO den CO₂-Fußabdruck in Scope 1 und 2 von 2019 bis 2021 um 44% reduzieren. Die Signifikanz der

¹⁹ Modahl, I. et al. (2013): *Comparison of two EPD, using generic and specific data for the foreground system, and some methodological implications*. The International Journal of Life Cycle Assessment 18, S. 241-251.

²⁰ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2022, 14. Dezember): *Recycling von Altholz*. <https://holz.fnr.de/arbeiten-mit-holz/recycling-von-altholz>

effizienten Nutzung nachwachsender Rohstoffe liegt somit auf der Hand. Vor allem mit den Werten der Furnierschichtholz-Produktion (LVL) lässt sich dieser Ansatz bei STEICO gut darstellen: Von dem Rundholz, das eingekauft wird, gehen 61% in die Hauptprodukte LVL und Holzfaser-Dämmstoffe und 27% werden für die Energiegewinnung genutzt. 8% der anfallenden Nebenprodukte werden in Form von Furnierrollen als Rohmaterial für die eigene Produktion von Transportpaletten verwendet und die restlichen 4% entsprechen Trockungsschwund.

Diese und ähnliche Darstellungen finden sich im Nachhaltigkeitsbericht, den STEICO seit 2018 jährlich publiziert hat. Der Nachhaltigkeitsbericht entspricht seit 2019 den Vorgaben von GRI und enthält eine stetig wachsende Anzahl wesentlicher Themen. 2022 enthielt der Nachhaltigkeitsbericht für das Jahr 2021 die erste Analyse zu der Nachhaltigkeit der Finanzflüsse der STEICO SE, in Form der Angaben zur EU-Taxonomie. Die Prüfung der Aktivitäten erfolgte bei STEICO wie oben beschrieben und führt dazu, dass der Umsatz zu 94,8%, die Investitionen (CapEx) zu 98,5% und die Betriebskosten (OpEx) zu 89,4% als taxonomiefähig bewertet wurden. Diese Werte wurden vor allem dadurch erreicht, dass STEICO energieeffiziente Gebäudeausrüstung in Form von Dämmstoffen und Dämmstoffsystemen produziert und in den Ausbau der Produktionskapazitäten investiert, sowie die Investitionen in nachhaltige Energiegewinnung. Diese Daten zeigen sehr gut, dass STEICO die Notwendigkeit erkannt hat, fossile Ressourcen zurückzufahren und einen größeren Anteil nachwachsender Rohstoffe einzusetzen, um langfristig CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Außer der Inklusion der EU-Taxonomie enthielt der Nachhaltigkeitsbericht 2021 noch weitere Neuerungen: Es wurden zum ersten Mal Ziele für die nachhaltige Entwicklung publiziert, die STEICO zum größten Teil bis 2026 erreichen will. Diese können in den Folien zu der Präsentation nachgelesen werden oder im Nachhaltigkeitsbericht 2021. Die sozialen Ziele betreffen vor allem die Verbesserung der Arbeitsplätze und Reduzierung der konzernweiten Fehltagel, sowie eine verbesserte Anpassung der Mitarbeiter an ihre Aufgaben durch ein neues Weiterbildungsprogramm. Im Bereich der Ökologie plant STEICO die CO₂-Intensität der verbrauchten Energie zu reduzieren, sowie eine starke Reduktion der CO₂-Emissionen aus Reisetätigkeiten. Im Bereich Governance wurde die Zielerreichungsdauer noch ambitionierter festgelegt. Bis Ende 2023 wird STEICO ein konzernweit einheitliches Whistleblower-System zu Korruptionsbekämpfung implementieren. In den zukünftigen Nachhaltigkeitsberichten wird STEICO den Fortschritt aller Ziele darstellen.

Um den Nachhaltigkeitsbericht zu erstellen, arbeitet die Abteilung Qualitäts- und Nachhaltigkeitsmanagement mit allen Abteilungen zusammen, die sich mit wesentlichen Themen befassen. Um soziale Aussagen zu tätigen, liefert insbesondere die Personalabteilung viele Daten, während die Aussagen zu ökologischen Aspekten vor allem auf den Daten der Produktion fußen. Im Umweltbereich wird mit vielen Primärdaten aus der Produktion gearbeitet, die zum Beispiel als Basis für die Berechnung der CO₂-Emissionen, Wassernutzung und des Energieverbrauchs dienen.

Genau diese Daten ermöglichen auch die Erstellung von EPDs (Environmental Product Declaration). Die letzten EPDs ließ STEICO auf Basis der Daten von 2019 erstellen, weshalb die Werte nicht die aktuellen Umweltauswirkungen der STEICO-Produkte präsentieren können. Die Zusammensetzung des Energieverbrauchs hat sich bei STEICO vor allem bei der Kohle und entsprechend bei den biobasierten Ersatzenergiequellen verändert. 2019 kamen aus Kohle 36% der genutzten Energie bei STEICO, während es 2021 nur noch 12% waren. Im gleichen Zeitraum konnte STEICO den Anteil der Biomasse von 40% auf 53% steigern, während Holz-Pellets nun einen Anteil von 9% ausmachen, die 2019 rechnerisch 0% der Energie lieferten. Um die Auswirkungen dieser positiven Entwicklung auf die Produkte verlässlich darzustellen, lässt STEICO 2023 neue EPDs erstellen. Auf Basis einer eigenen vorläufigen Auswertung müssten die CO₂-Emissionen der Produkte um 50% sinken, wenn nur die Kohle durch Biomasse ersetzt wird und keine weiteren positiven Entwicklungen beachtet werden. Die Erstellung des Nachhaltigkeitsberichts ermöglicht somit durch die benötigten Daten eine Entscheidungsgrundlage, inwiefern eine Überarbeitung publizierter Umweltdaten nötig ist.

4. Nachhaltigkeit in der Zukunft

Die besprochenen Änderungen, die schon jetzt auf die Unternehmen zukommen, haben noch für lange Zeit Auswirkungen auf wirtschaftliche Tätigkeiten. Die Europäische Union hat das Ziel bis 2050 klimaneutral zu werden, was schon den Zeithorizont der Zielsetzung darstellt. Bis dahin werden weitere Vorgaben, Evaluierungen und Anpassungen kommen, da alte Gesetze an die neuen Ziele angepasst werden müssen und innovative Lösungen Regeln benötigen, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht abzusehen sind. Firmen tragen eine große Verantwortung in dem ökologischen und sozialen Umbau der Wirtschaft. Aus diesem Grund zielen so viele der Regeln und gesellschaftliche Forderungen auf die Art und Weise ab, wie Firmen arbeiten. Langfristig bedeutet diese, dass Firmen, die nicht nachhaltig arbeiten, durch Druck vom Gesetzgeber und von der Gesellschaft zum Umlenken gezwungen werden oder untergehen. Nachwachsende Rohstoffe wie Holz liefern eine CO₂-neutrale Möglichkeit, Produkte zu erstellen. In Kombination mit konsequentem Recycling und Kaskadennutzung können holzbasierte Alternativen eine Menge fossiler Produkte in einer Vielzahl von Industrien ersetzen, diese reichen vom Bausektor bis hin zu Batterien für die Elektromobilität.

ALLES HOLZ – Was wird gehen?

Forschung als Notwendigkeit in der holzbasierten Bioökonomie

Dr. Veronika Auer
Technische Hochschule Rosenheim,
Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern
Rosenheim, Deutschland



Forschung als Notwendigkeit in der holzbasierten Bioökonomie

1. Hintergrund

Die Notwendigkeit zur Forschung bezieht sich auf den Bedarf, neues Wissen und Erkenntnisse zu erlangen, um bestimmte Ziele oder Probleme zu lösen.

Aktuell steht die Welt vor großen Herausforderungen. Eine davon ist der Klimawandel. Er wird durch den Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre verursacht, was zu einer Erwärmung der Erde führt. Dies kann zu extremen Wetterereignissen, Meeresspiegelanstieg und Veränderungen in Ökosystemen führen. Es gilt daher Lösungen zu finden, die bestehenden planetaren Grenzen einzuhalten. Gelingt dies nicht, werden irreversible Kippunkte unseres Planeten getriggert und das Leben verändert sich drastisch (Churkina et al., 2020). Die Untersuchung und das Finden von Lösungen für diese Herausforderung macht Forschung notwendig. So besteht die Notwendigkeit für die teilweise noch nicht lösbaren Herausforderungen Lösungen zu finden, Innovationen zu entwickeln, um so bestehende Wissenslücken zu schließen. Die Sustainable Development Goals der United Nations (UN, 2015) verstehen sich dabei als übergeordnete Ziele, an denen sich die Forschung seit einigen Jahren orientiert.

Die Bioökonomie hat das Potenzial, eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Lösungen für aktuelle globale Herausforderungen wie den Klimawandel zu spielen und zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele der UN beizutragen. Sie ist ein interdisziplinäres Gebiet, das sich mit der nachhaltigen Nutzung biologischer Ressourcen für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, chemischen und technischen Produkten sowie Energie beschäftigt. Die holzbasierte Bioökonomie ist ein Konzept, das sich auf die nachhaltige Nutzung von Holz und anderen biologischen Rohstoffen aus Forsten und Landwirtschaft zur Erzeugung von Produkten, Energie und Dienstleistungen bezieht. Sie hat das Ziel, eine wirtschaftlich tragfähige und umweltverträgliche Alternative zu fossilen Rohstoffen zu bieten und dabei die Biodiversität und die Waldökosysteme zu schützen (SVB, 2021; acatech, 2022).

Gezielte Forschung ist damit ein wichtiges Puzzlestück, das die Erreichung der Ziele der Bioökonomie und somit die Umsetzung der Sustainable Development Goals vorantreibt. Es stellt sich die Frage, wie sieht diese «Bioökonomieforschung» am Beispiel der Wertschöpfungskette Forst-Holz aus? Wo liegen die Herausforderungen und was sind wichtige nächste Schritte? Der vorliegende Vortrag trägt zur Beantwortung der Fragen mit einer ersten Meta-Auswertung wissenschaftlicher Veröffentlichungen zur Forschung und Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie bei. Grundlage der Meta-Analyse stellt eine Schlagwortsuche in der Datenbank Web of Sciences dar. Die Suche resultiert in 628 Treffern für peer-reviewed Veröffentlichungen (Journal Paper, Review Paper, Conference Proceedings) bis einschließlich 2022. Die Auswertung basiert auf den Analysemöglichkeiten der Web of Sciences Datenbank und auf der Anwendung des R-tools bibliometrix (Aria and Cuccurullo, 2017).

2. Holz in der Bioökonomie

Holz ist auf das Volumen bezogen die wichtigste nachwachsende Ressource der Bioökonomie. Es wird als Rohstoff für verschiedene Anwendungen genutzt. Die holzbasierte Bioökonomie umfasst alle Bereiche der Wertschöpfungskette Forst und Holz, die sich mit der nachhaltigen Nutzung von Holz als Ressource befassen (Auer, 2022):

1. **Primäre Rohstoffbereitstellung** (Waldbewirtschaftung, forstliche Produktion): Die Waldbewirtschaftung umfasst alle Tätigkeiten, die zur Pflege und Nutzung von Wäldern erforderlich sind, wie beispielsweise die Aufforstung, die Schädlingsbekämpfung und die Holzgewinnung.

2. **Primäre Holzverarbeitung** (1. Wertschöpfungsstufe): Die primäre Holzverarbeitung umfasst alle Tätigkeiten, die zur Herstellung von Holzprodukten erforderlich sind, wie beispielsweise die Säge-, Holzwerkstoff- und die Papierindustrie.
3. **Sekundäre Holzverarbeitung** (2. Wertschöpfungsstufe): Die sekundäre Holzproduktion umfasst alle Tätigkeiten, die zur Herstellung von Endprodukten aus Holz erforderlich sind, wie beispielsweise für Baumaterialien und Möbel oder Holzspielwaren.
4. **Holzvermarktung**: Die Holzvermarktung umfasst alle Tätigkeiten, die mit dem Verkauf und der Vermarktung von Rohholz und Holzprodukten zusammenhängen, wie beispielsweise der Handel mit Holz und Holzprodukten.
5. **Sekundäre Rohstoffbereitstellung**: Die sekundäre Rohstoffbereitstellung umfasst alle Tätigkeiten, die zur Wiederverwendung von Holzprodukten erforderlich sind, wie beispielsweise das Sammeln, Sortieren, Ver- und Aufarbeiten von Holzreststoffen/-abfällen und Altholzsortimenten.

3. Status Quo der Forschung in der holzbasierten Bioökonomie

Die zeitliche Analyse der Publikationen nach Veröffentlichungsjahr zeigt, dass erstmals im Jahr 2010 ein zur Suchanfrage passender Artikel veröffentlicht wurde. In 2021 wurden 139 Artikel veröffentlicht. Daher ist eine rasante Zunahme der Forschungsaktivitäten zur holzbasierten Bioökonomie bis 2021 festzustellen. Im Jahr 2022 sank die Zahl der Veröffentlichungen in diesem Bereich auf knapp unter 100 Stück.

Zu den wichtigsten veröffentlichenden Einrichtungen zählen die Aalto Universität Finnland (169 Veröffentlichungen), die University of British Columbia (151 Veröffentlichungen) und die Universität Helsinki (81 Veröffentlichungen). Festzuhalten ist, dass 40% aller Veröffentlichungen, die sich mit Forschung und Entwicklung in der holzbasierten Bioökonomie beschäftigen 29 Einrichtungen weltweit zuzuordnen sind. Eine führende Rolle kommt dabei den finnischen Universitäten und Forschungseinrichtungen zu.

Getrieben wird die Forschung der holzbasierten Bioökonomie einerseits von Themen zur Entwicklung biogener Plattformchemikalien. Andererseits zeigt die Auswertung, dass die ganzheitliche Bewertung der Umweltauswirkungen von Verfahren und Produkten, ein Treiber zur Weiterentwicklung der Bioökonomie darstellt. Die grundlegenden Themen sind Nachhaltigkeit, zirkuläre Bioökonomie, Bioenergie, Innovation, forstliche Themen sowie die chemische Nutzung von Holz in unterschiedlichen Verfahren, wobei Rinde als Rohstoff an Bedeutung gewinnt. Nischenthemen sind beispielsweise Holzernte, Produktivität, Polyphenole, Bioethanol. Die sogenannte Biokohle und nanofibrillierte Cellulose sind zunehmend wichtiger werdende Themen. Die Erforschung von unterschiedlichen Formen der Cellulose bleibt weiter ein forschungsstarkes Feld. Zunehmend gewinnt die Erzeugung, die Bereitstellung und Ernte von Holz über forstliche Fragestellungen in Verbindung mit der Wahrnehmung der Holznutzung in der Gesellschaft an Bedeutung. Mit steigender Anzahl an Holzverwendungsmöglichkeiten gewinnen Themen der Zukunftsstudien, der Nachhaltigkeitsbewertung als auch der Zirkularität der Bioökonomie stark an Wichtigkeit.

4. Notwendigkeit der Forschungsförderung in der holzbasierten Bioökonomie

In vielen Ländern gibt es Programme und Fördermaßnahmen, die auf die Förderung der Bioökonomieforschung ausgerichtet sind. Dazu gehören beispielsweise Förderungen von nationalen und internationalen Forschungsförderungsorganisationen, aber auch von Unternehmen und anderen privaten Stellen. Die Höhe der Fördergelder hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, wie der Größe und dem Themenschwerpunkt des Projekts, der Art der Förderung (z.B. projektbezogene Förderung oder Personalstellen) und dem Förderland. Knapp 10% der geförderten Forschungsarbeiten. Ausgehend von den 628 identifizierten Artikeln stellt die Europäische Kommission die am häufigsten fördernde Einrichtung dar. In Übereinstimmung mit der durch Anzahl der Publikationen bestätigten Forschungsaktivität finnischer Forschungseinrichtungen und Universitäten ist es wenig

verwunderlich, dass mit drei nachfolgenden finnischen Förderprogrammen in Summe 15 % der Forschungen der hier eingeschlossenen Publikationen gefördert wurde. Im Vergleich dazu beläuft sich der Anteil an Publikationen aus deutscher BMBF- oder DFG-geförderter Forschung zusammen auf knapp 5 %.

5. Herausforderungen in der holzbasierten Bioökonomie

Die Analyse der letzten Jahrzehnte unterstreicht, dass Forschung und deren Förderung notwendig waren und immer noch sind, um die holzbasierte Bioökonomie ganzheitlich zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele voranzutreiben. Jedoch gibt es immer noch eine Reihe von nicht gelösten Herausforderungen. So besteht die Notwendigkeit einer intensiven Forschung in nachstehenden Bereichen, um Herausforderungen der Zukunft zu bewältigen:

Sicherung der Rohstoffbasis durch Honorieren aller Ökosystemleistungen

Wichtig ist es, die Grundlage der holzbasierten Bioökonomie, das heißt die Rohstoffproduktion langfristig sicherzustellen (SVB, 2021). Dazu bedarf es der Erforschung von Möglichkeiten zur nachhaltigen Nutzung von Waldflächen. Es besteht die Notwendigkeit Auswirkungen der holzbasierten Bioökonomie auf die Biodiversität und die Ökosysteme sowie die Entwicklung von Maßnahmen zum Schutz dieser zu untersuchen. Die verschiedenen Leistungen des Waldes gilt es zu internalisieren. Neben dem Holzverkauf soll die weiteren Ökosystemleistungen des Waldes finanziell für den Waldbesitz berücksichtigt werden. Die Entwicklung einer entsprechenden Indikatorik sowie der passenden Finanzierung gilt es neutral und überparteilich zu entwickeln (acatech, 2022). Ökosystemleistungen des Waldes ergeben ein vielschichtiges System mit komplexen Zusammenhängen. Diese müssen differenziert zueinander betrachtet werden (Schulz and Weber-Blaschke, 2021). Im Einklang mit Biodiversität und den Ökosystemleistungen gilt es durch entsprechende Strategien und Maßnahmen die Rohstoffversorgung der holzbasierten Bioökonomie zu gewährleisten (Auer and Rauch, 2021b).

Stärkung der Kreislaufwirtschaft, Kaskadennutzung und Suffizienz durch das Leben von Zirkularität

Die Idee der Kreislaufwirtschaft ist, dass Rohstoffe und Materialien in einem möglichst geschlossenen Kreislauf verwendet, wiederverwendet und recycelt werden, mit einem Minimum an Abfall und Verschmutzung. Das Konzept der zirkulären Bioökonomie ist eng mit der Idee der Kreislaufwirtschaft verknüpft. Ressourcen sollten so lange wie möglich genutzt werden, um den maximalen Wert aus ihnen herauszuholen, bevor sie wiederverwertet und regeneriert werden. Im Zusammenhang mit der holzbasierten Bioökonomie bedeutet dies, dass Holz und holzbasierte Produkte in einer Weise verwendet werden, dass möglichst lange der im Holz gebundene Kohlenstoff in der Nutzung und somit in der Bindung bleibt (Jarre et al., 2020). Dies stellt einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz dar (Brunet-Navarro et al., 2018). Kaskadennutzung beschreibt die Nutzung von Holz in verschiedenen Stufen. Sie geht meist mit einer Minderung der Rohstoffqualität je Nutzungsstufe einher. Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung in Verbindung mit der suffizienten, das heißt sparsamen, Nutzung zielt auf eine ressourcenschonende und möglichst langfristige Holzproduktenutzung ab. Wichtige Themen in diesem Bereich sind: die Erhöhung der Nutzung von Sekundärressourcen (SVB, 2021; Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021), der Vorrang von stofflicher Nutzung vor energetischer Nutzung (acatech, 2022; SVB, 2021), Design for Reuse/Recycling (acatech, 2022) und Steigerung der Ressourceneffizienz von Prozessen bei gleichzeitiger Reduzierung des Holzverbrauchs.

Steigerung der Akzeptanz und Förderung zukunftsfähiger Innovationen durch die integrative Umsetzung der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziologie)

Eine weitere Herausforderung der Bioökonomieforschung ist die gleichwertige Integration von Ökologie, Ökonomie und Soziologie. Es gilt, eine nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen zu gewährleisten, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Ziele berücksichtigt und von der Gesellschaft anerkannt werden. Dies erfordert eine ganzheitliche Betrachtung der Bioökonomie, die sowohl biologische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt (Auer, 2022) und immer Wirkungen auf unsere Gesellschaft einbeziehen

muss. Dies umfasst mitunter, dass transparente Informationen für Verbraucher und Verbraucherinnen abgeleitet werden (acatech, 2022). Wichtig für die Zukunft ist zudem, ein gemeinsames Verständnis von Bioenergie im Sinne der Bioökonomie zu erarbeiten. Durch eine energetische Verwertung von bisher noch nicht stofflich nutzbaren Nebenströmen oder als End-of-Life-Szenario wird die Energiegewinnung ein fester Bestandteil der Bioökonomie sein. Mithilfe der Forschungsförderung muss dafür Sorge getragen werden, dass die entwickelten Verfahren und Produkte wirtschaftlich umsetzbar sind, Ressourcen ökologisch sinnvoll genutzt werden sowie die Akzeptanz der Gesellschaft als Voraussetzung für ihren Erfolg gegeben ist. Nur so kann ein entscheidender Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele geleistet werden (SVB, 2022).

Umsetzen von Technologien, Verfahren und deren Skalierbarkeit mit der Förderung themenoffener Innovationen

Eine der wichtigsten Herausforderungen der Bioökonomieforschung ist die Entwicklung von nachhaltigen Technologien und Verfahren, die Ressourcen schonen und die Umweltbelastung verringern. Besonders wichtig sind dabei innovative Technologien zur Verarbeitung von Holz in hochwertige Produkte wie Papier, Textilien, Kunststoffe oder Plattformchemikalien (Auer and Rauch, 2021a). Ebenso gehört die Entwicklung von Verfahren, die Ausgangsmaterialien für biobasierte Kunststoffe liefern und den Einsatz von fossil-basierten chemischen Zusätzen minimieren zum Forschungsgegenstand (Buller et al., 2022). Ein weiteres Beispiel sind in diesem Bereich Pilzwerkstoffe (Buller et al., 2022). Die Skalierbarkeit der entwickelten Verfahren und Produkte stellt ebenso eine Herausforderung dar. Dazu gehört die Entwicklung von Verfahren, die sich leicht in bestehende Industrieprozesse integrieren lassen und die in der industriellen Produktion einsetzbar sind. Dies erfordert umfassende und interdisziplinäre Forschung.

Vorantreiben des Technologietransfers durch die Einbindung verschiedener Stakeholder

Eine weitere Herausforderung der Bioökonomieforschung ist der Technologietransfer und der Marktzugang für neue biobasierte Verfahren und Produkte. Es gilt, die Ergebnisse der Bioökonomieforschung in die Anwendung zu bringen und sie auf dem Markt zu etablieren. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit aller Akteure entlang einer Wertschöpfungskette flankiert (Delzeit et al., 2021) mit entsprechender Finanzierungsunterstützung. Parallel dazu ist die Erforschung von Märkten, Kundenbedarfen und die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen (acatech, 2022), die eine nachhaltige Produktion und Nutzung von Holz ermöglichen eine dringliche Forschungsaufgabe. Die Gesellschaft, das heißt Bürger und Bürgerinnen, Verbraucher und Verbraucherinnen müssen ebenso in ihren Ansichten und Bedürfnissen eingebunden werden, um so die Akzeptanz für neue Technologien zu erhöhen (SVB, 2022; Delzeit et al., 2021).

6. Schlussfolgerung

Die holzbasierte Bioökonomie ist eine wichtige Säule der Bioökonomie, die sich mit der nachhaltigen Nutzung biologischer Ressourcen befasst. Holz ist auf das Volumen bezogen die wichtigste biobasierte Ressource, die eine vielfältige Verwendung hat. Die Themen, mit denen sich Forschungen zur holzbasierten Bioökonomie beschäftigen sind vielfältig und erfuhren über die letzten Jahre hinweg eine deutliche Veränderung. Ausgehend von der Betrachtung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Erzeugung von Bioenergie wurden in den darauffolgenden Jahren, die Themen vielfältiger. So gewannen zwischen 2013 mehr Themen wie Politik, Modellierung, Nanocellulose, Bioökonomie, Lignin, Cellulose, Bioraffinerie, Hemicellulose neben Bioenergie an Bedeutung.

Die Forschung in der holzbasierten Bioökonomie ist eine Notwendigkeit, um eine nachhaltige Rohstoffproduktion sicherzustellen, langfristig nutzbare Verfahren und Produkte zu entwickeln und damit die Transformation hin zu einer biobasierten Lebens- und Wirtschaftsweise zu beschleunigen. Forschung kann dazu beitragen, neue Technologien, Verfahren und Produkte zu entwickeln. Die Forschung in der holzbasierten Bioökonomie ist auch aus wirtschaftlicher Sicht von Bedeutung, da sie die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in der Forst- und Holzwirtschaft stärkt und neue Geschäftsmöglichkeiten

eröffnet. Ebenso ist die Forschung zur erfolgreichen Umsetzung der holzbasierten Bioökonomie notwendig, um neues Wissen und Erkenntnisse zu erlangen. Dies gilt besonders für die Einbindung verschiedener Stakeholder und damit die Akzeptanz der holzbasierten Bioökonomie in unserer Gesellschaft zu erhöhen.

Alle unterschiedlichen Bereiche, Akteure und Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette Forst und Holz sind in der holzbasierten Bioökonomie von großer Bedeutung. Sie sind eng miteinander verflochten und können sich gegenseitig beeinflussen und ergänzen. Die Forschung der holzbasierten Bioökonomie muss daher international und interdisziplinär sein sowie sich aus verschiedenen wissenschaftlichen und technischen Disziplinen zusammensetzen. Grundlegend dabei ist, Wertschöpfungsketten ganzheitlich im Kreislauf zu denken und dabei alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziologie) gleichwertig und integrativ in der Gestaltung zu beachten. Insgesamt hat die Forschung in der holzbasierten Bioökonomie das Potenzial, die Forst- und Holzwirtschaft nachhaltiger und produktiver zu gestalten, indem biobasierte Alternativen zu fossilen Rohstoffen entwickelt werden. Sie trägt zu einer nachhaltigeren und umweltfreundlicheren Nutzung von Holz als Ressource bei und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen.

7. References

- [1] acatech (Ed.), 2022. Holzbiobasierte Bioökonomie: Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient. acatech POSITION, München, 86 pp.
- [2] Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11 (4), 959–975.
- [3] Auer, V., 2022. The value chain of hardwood and the transition to a wood-based bioeconomy. Dissertation. Vienna, Vienna.
- [4] Auer, V., Rauch, P., 2021a. Developing and evaluating strategies to increase the material utilisation rate of hardwoods: a hybrid policy Delphi-SWOT analysis. *Eur. J. Wood Prod.*
- [5] Auer, V., Rauch, P., 2021b. Wood supply chain risks and risk mitigation strategies: A systematic review focusing on the Northern hemisphere. *Biomass and Bioenergy* 148 (106001).
- [6] Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Kroiher, F., Muys, B., 2018. Effect of cascade use on the carbon balance of the German and European wood sectors. *Journal of Cleaner Production* 170, 137–146.
- [7] Buller, J., Daschner, R., Grimm, L., Hofer, M., Hüsing, B., Krayner, J., Miehe, R., Präg, E., Stahl, E., Stumpf, A.-K., Vieres, L., Volkert, B., Wydra, S., 2022. Roadmap der Fraunhofer-Gesellschaft zur Umsetzung der Bioökonomie in Deutschland: Eine Roadmap der Fraunhofer-Gesellschaft zur Umsetzung der Bioökonomie in Deutschland, Berlin, 54 pp. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/FSF/biooekonomie/Fraunhofer_Roadmap_Biooekonomie.pdf (accessed 9 January 2023).
- [8] Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E., Schellnhuber, H.J., 2020. Buildings as a global carbon sink. *Nat Sustain* 3 (4), 269–276.
- [9] Delzeit, R., Heimann, T., Schuenemann, F., Söder, M., Zabel, F., Hosseini, M., 2021. Scenarios for an impact assessment of global bioeconomy strategies: Results from a co-design process. *Research in Globalization* 3, 100060.
- [10] Jarre, M., Petit-Boix, A., Priefer, C., Meyer, R., Leipold, S., 2020. Transforming the bio-based sector towards a circular economy – What can we learn from wood cascading? *Forest Policy and Economics* 110, 101872.
- [11] Schulz, C., Weber-Blaschke, G., 2021. Kontrovers diskutiert: Der Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft: Wie kommt es zu unterschiedlichen Argumentationslinien und Widersprüchen? *LWF aktuell* 2021 (01), 19–22.
- [12] SVB, 2021. Die Wertschöpfungskette Forst-Holz und ihr Beitrag zur Bioökonomie. Themenpapier, Straubing, 4 pp. https://www.biooekonomierat-bayern.de/images/Themenpapiere2021/SVB_Themenpapier_Holz_und_Forst.pdf (accessed 9 January 2023).

- [13] SVB, 2022. Akzeptanz als Bedingung für den Erfolg der Bioökonomie, 5 pp.
https://www.biooekonomierat-bayern.de/images/2022/Themenpapiere2022/2022_Akzeptanz_der_Biokonomie.pdf (accessed 11 January 2023).
- [14] UN, 2015. THE 17 GOALS | Sustainable Development.
<https://sdgs.un.org/goals> (accessed 9 January 2023).
- [15] Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021. Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel: Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik, Berlin, 209 pp.

Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe – Partner für Holz?

Anna Eiglsperger
Geschäftsstelle des Sachverständigenrats Bioökonomie Bayern
Straubing, Deutschland



Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe – Partner für Holz?

1. Hintergrund

Der anthropogene Klimawandel ist die größte Herausforderung unserer Zeit. Mehr als 90 % der emittierten Treibhausgase enthalten Kohlenstoff, welcher wiederum zu mehr als 80 % aus fossilen Quellen stammt [1]. Um die Klimaziele des Übereinkommens von Paris einhalten zu können, muss ein Großteil der noch vorhandenen fossilen Rohstoffe zwingend im Boden verbleiben und bereits in Nutzung befindlicher Kohlenstoff besser und kontinuierlich im Kreislauf gehalten werden, um nicht in Form von CO₂ in die Atmosphäre zu gelangen. Fossile Kohlenstoffquellen dürfen dabei nicht Teil des Kreislaufes sein.

Auf der anderen Seite ist Kohlenstoff ein sehr wichtiger Baustein und das Grundgerüst der meisten heute genutzten Chemikalien und Materialien. Eine Dekarbonisierung, vergleichbar wie im Energiesektor, ist somit faktisch im Materialsektor unmöglich. Biobasierte Polymere, und insbesondere solche, die darüber hinaus biologisch abbaubar sind, könnten, je nach Einsatzbereich, die Umwelt deutlich entlasten. Die Unterscheidung zwischen diesen beiden Werkstoffgruppen ist für eine sachliche Diskussion unerlässlich. Der häufig verwendete Begriff «Biokunststoff» ist zur Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften ungeeignet und wird oft missbräuchlich verwendet. Ob der Kohlenstoff aus fossilen oder erneuerbaren Rohstoffen stammt, ist für die Eigenschaften der daraus entstehenden Produkte zunächst nicht relevant. Erneuerbarer Kohlenstoff findet sich in einer großen Bandbreite an Produkten. Diese reichen dabei von nahezu unveränderter Nutzung des Rohstoffs wie bspw. als Bauholz bis zu aus Stärke oder Zucker durch Fermentation hergestellten synthetischen Produkten wie Kunststoffen.

In Zukunft ist ein Wandel von der Nutzung fossilen Kohlenstoffs hin zu biobasierten, erneuerbaren Kohlenstoffressourcen, wie z.B. Holz, Stärke bzw. Kohlenhydraten oder Pflanzenölen zwingend erforderlich, um die klima- und umwelt-verträgliche Versorgung mit kohlenstoffbasierten Materialien sicherzustellen. Damit einher muss der Aufbau einer möglichst regionalen Wertschöpfungskette gehen.

Durch intensive Forschung und Entwicklung ist es technologisch bereits heute möglich, einige aus fossilen Quellen stammende chemische Zwischenprodukte oder Polymere durch biobasierte qualitativ gleichwertig zu ersetzen. Die Herstellung von biobasierten Polymeren findet beispielsweise über innovative bio- oder chemokatalytische Umwandlung von Biomassebestandteilen wie Kohlenhydraten, Fetten oder Lignin statt. Die Spanne reicht dabei von molekular identischen Produkten (Drop-Ins), z.B. Polyethylen und Polypropylen, bis hin zu biologisch abbaubaren Werkstoffen mit teilweise neuen Eigenschaftsprofilen, z.B. Polymilchsäure und andere biobasierte Polyester, wie Polyhydroxyalkanoate (PHA), die vollständig in Bakterien als mikrobieller Speicherstoff hergestellt werden. Unabhängig vom gewählten Polymer muss grundsätzlich eine bestmögliche Integration in bestehende und zukünftige Stoffkreisläufe angestrebt werden, um eine maximale Kreislaufführung des Kohlenstoffs zu erreichen und den zusätzlichen Bedarf an Kohlenstoff zu minimieren. Dies betrifft auch eine eventuell angestrebte (industrielle) Kompostierung als Lebensende-Szenario: da mit dem biologischen Abbau auch zwangsläufig die Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs einhergeht, sollte dies nur für Produktkategorien die bevorzugte Lebensende-Option sein, in denen Wiederverwendung und Recycling nicht praktikabel sind oder eine Emission in die Umwelt nicht vermeidbar ist. Konkrete Anwendungsfälle wären beispielsweise Mulchfolien, Kompostbeutel oder Rasentrimmer-Mähfäden.

Auch biobasierte Polymere können im Sinne des Cradle-to-Cradle-Prinzips [2] im Kreislauf geführt werden. Untenstehende Abbildung 1 zeigt zum einen den technischen Kreislauf, in dem Produkte und Gebrauchsgüter, solange es möglich ist, genutzt, wiederverwendet oder durch chemische oder mechanische Aufbereitung recycelt werden und damit der Einsatz neuer Ressourcen reduziert wird. Können Materialien oder Produkte nicht mehr sinnvoll im technischen Kreislauf gehalten werden bzw. kann ein Übertritt aus der Technosphäre in die Biosphäre nicht verhindert werden (z.B. aufgrund von Verschleiß oder Abrieb), sollten

Produkte so gestaltet sein, dass sie sich in den biologischen Kreislauf integrieren lassen. Innerhalb dieser beiden Kreisläufe werden Rohstoffe effizient und ökologisch genutzt und Ressourcen können erheblich sparsamer eingesetzt werden, als dies bei einer rein thermischen Verwertung der Fall ist. In der Kreislaufwirtschaft von morgen werden die biobasierten bzw. biologisch abbaubaren Produkte gemeinsam erfasst und im Anschluss durch maschinelle Sortierung entweder dem technischen Kreislauf zum Wertstoffrecycling zugeführt oder durch organisches Recycling in den biologischen Kreislauf gebracht.

BIOPOLYMERE IM KREISLAUF DER BIOÖKONOMIE

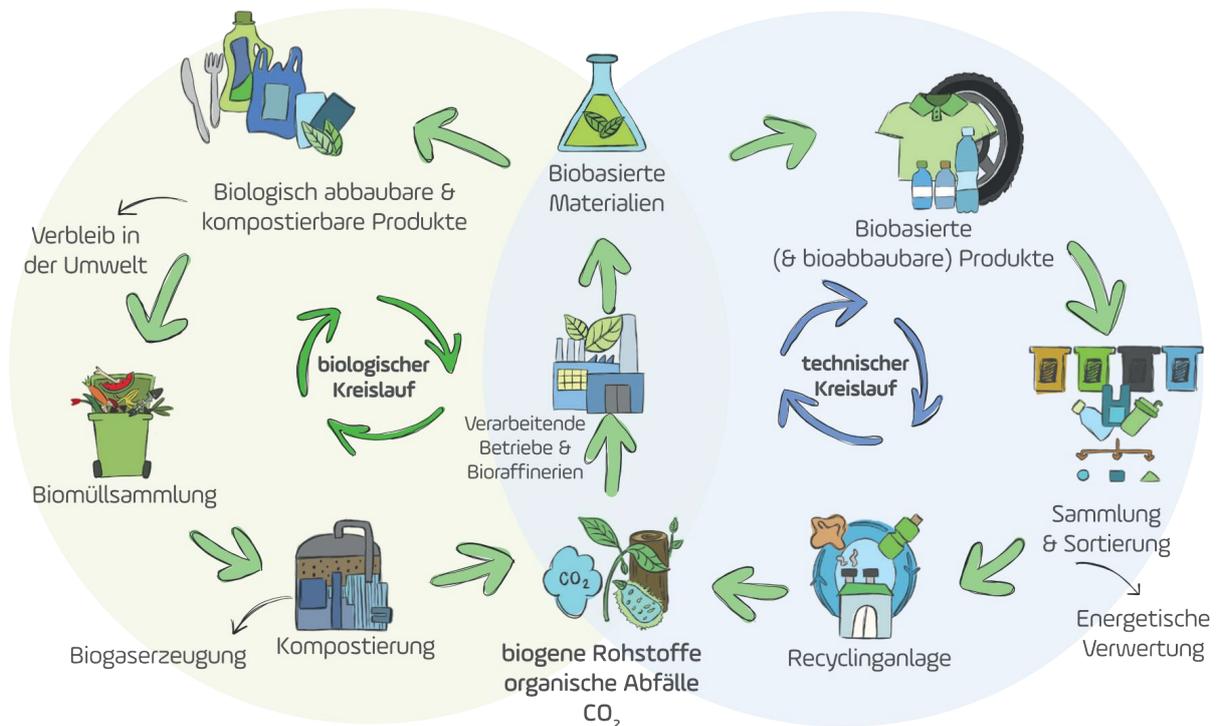


Abbildung 1: Die Nutzung von Biopolymeren im technischen und biologischen Kreislauf nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip, SVB 2021.

2. Herausforderungen

Um die Chancen, die Produkte aus biobasierten bzw. biologisch abbaubaren Polymeren bieten, nutzen zu können, muss zuerst die öffentlich geführte Diskussion versachlichtet werden, indem man auf den Begriff Biopolymer verzichtet und zwischen den beiden Werkstoffgruppen unterscheidet. Pauschalisierende Aussagen sollten vermieden werden. Dann sollte undogmatisch geprüft werden, wo der eine bzw. andere Werkstoff Vorteile gegenüber herkömmlichen Kunststoffen bietet. Die dabei zu erreichenden Ziele sind allgemein bekannt, die Verringerung der CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen, ein Ende der Verschmutzung der Gewässer und Böden durch Mikroplastik, die Stärkung des ländlichen Raumes, Erhalt der Arbeitsplätze, Förderung der Kreislaufwirtschaft und eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen.

2.1. Biopolymere sind vielfältig hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe, ihrer Herstellung, ihrer Eigenschaften und ihrer Verwendung.

Natürliche Polymere wie Alginat, Xanthan, Carrageen oder Zellulose können beispielsweise in Kosmetika, als Zusatz zu Farben und Lacken oder als Fließmittel verwendet werden und damit petrochemische Stoffe ganz oder zumindest teilweise ersetzen. Aus Chitin gewonnenes Chitosan und mithilfe von Bakterien oder Pilzen hergestellte biobasierte Tenside

kommen in Waschmitteln zum Einsatz und sind nachhaltig erzeugte und ökologisch attraktive Alternativen zu fossilbasierten Inhaltsstoffen. Es gibt aber auch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo), die aus Polymeren bestehen oder Polymere enthalten, die in ihrer natürlichen Form verwendet werden, wie Wolle und Stroh. Häufig verwendete Polyamid-Kunststoffe, wie z.B. Nylon und Perlon können ebenfalls teilweise unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden. Moderne Fasern, die wir u.a. in Sportbekleidung und Vliesstoffen finden, wie z.B. Lyocell, sind Regeneratfasern der Zellulose. PET-Getränkeflaschen können mit biobasiertem Monoethylenglykol (MEG) hergestellt werden und sind bereits bei internationalen Getränkeherstellern im Einsatz. Schließlich bestehen die kompostierbaren Obst- & Gemüsebeutel, die in mehreren europäischen Ländern vom Verbot der Kunststoff-Einwegtragetaschen ausgenommen sind, aus überwiegend biobasierten Stärke-Blends – Mischungen aus thermoplastischer Stärke und biologisch abbaubaren Polyestern. So unterschiedlich die Anwendungsmöglichkeiten für Biopolymere sind, so divers sind auch die Optionen zur Kreislaufführung der Materialien.

2.2. Viele biobasierte bzw. biologisch abbaubare Polymere werden noch nicht im industriellen Maßstab produziert.

Für einige petrobasierte Polymere existieren bereits biobasierte Alternativen. Es gilt nun einerseits, die Produktion aus dem Labor- in den Industriemaßstab zu heben und andererseits, die zahlreichen biobasierten bzw. biologisch abbaubaren Polymere auf den Märkten zu etablieren, ihre Verwendung sowie die Kreisläufe zu fördern und das Wissen der Konsument*innen zu erweitern, um ihnen eine Entscheidung für nachhaltigere Produkte zu erleichtern. Außerdem sollte geprüft werden, für welche Anwendungen sich welche biobasierten Polymere eignen und als Substitute für fossile Polymere gefördert oder bevorzugt werden können. Es ist zu prüfen, welche gesetzlichen Regulierungsinstrumente (z.B. NawaRo-Quoten, CO₂-Bepreisung/-Abgabe auf petrobasierte Produkte) implementiert werden können, um den Wandel der von der fossilen Wegwerfwirtschaft hin zur biobasierten Kreislaufwirtschaft voranzubringen.

2.3. Biobasiert oder biologisch abbaubar?

Als ein Klassifizierungsmerkmal ist die biologische Abbaubarkeit der Polymere zu nennen. Bei Biopolymeren werden biobasierte und bioabbaubare Biopolymere unterschieden. Einige Polymere besitzen auch beide Eigenschaften.

Für welche Produkte die biologische Abbaubarkeit sinnvoll ist, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Grundsätzlich gilt im Sinne der Kreislaufwirtschaft, Kohlenstoff – biobasiert oder fossil – so lange wie möglich im Kreislauf zu halten. Das ist zum Beispiel mit einer PET-Flasche mit 30% biobasiertem MEG schon heute möglich. Mit zukünftig erwartbarer FDCA-Produktion wird die PET-Flasche zunehmend durch PEF-Flaschen, hergestellt aus 100% biobasierten Rohstoffen, darstellbar sein und die PET-Flasche zunehmend verdrängen. Die Recyclierbarkeit ist bei beiden Systemen vergleichbar, sofern man das Sammelsystem etabliert hat. Bei bestimmten Anwendungen kommt es bei der Nutzung zum Verschleiß oder Abrieb und so verbleiben Rückstände des Materials in der Umwelt oder in Gewässern. Für den Einsatz von Kunststoffen in ökosensiblen Bereichen bieten abbaubare Materialien einen bedeutenden Mehrwert, wenn dadurch der Eintrag von Mikroplastik in die Natur vermindert wird. Eine Übersicht über solche Anwendungen für biologische abbaubare Polymere gibt der Bericht zu dem Projekt BioSinn [3].

Kunststoffartikel, die in Verbindung mit Lebensmitteln eingesetzt werden, gelangen oft in den Strom der organischen Abfälle, z.B. Obstetiketten, Lebensmittelverpackungen oder Kaffeekapseln, und erschweren die Produktion von sauberem Kompost ohne Kunststoffrückstände, weil eine vollständige Trennung der Kunststoffe von dem feuchten Abfall, vor dessen Umwandlung zu trockenem Kompost, nicht möglich ist. Seit der Einführung der Biotonne in Deutschland kämpfen die Öffentlich-rechtlichen Entsorger mit mehr oder weniger hohen Fremdstoffanteilen im Bioabfall. Laut einer Studie, die im Auftrag des NABU durchgeführt wurde, werden rund 1.235 to Kunststoffe/ Jahr durch Komposte und Gärreste in landwirtschaftliche Böden eingetragen [4].

Durch biologisch abbaubare Werkstoffe wird der Mikroplastik-Eintrag in die Natur, aufgrund des raschen biologischen Abbaus des Materials, verringert. Im Rahmen des Bio-Beutel Projekts, das C.A.R.M.E.N. e.V. im Rahmen der bayerischen Bioökonomiestrategie durchgeführt hat, wurde deutlich, dass Bioabfallbeutel aus biologisch abbaubaren Polymeren bei den Verbraucher*innen sehr beliebt sind und auch die kompostierbaren Obst- und Gemüsebeutel für den Einkauf und die Sammlung von Bioabfall gerne angenommen werden. In den anschließenden Kompostuntersuchungen konnten keine Folienrückstände der biologisch abbaubaren Beutel mehr nachgewiesen werden [5].

2.4. Aufklärung ist wichtig

Um einer Verwechslung oder Gleichsetzung der Begriffe «biobasiert» und «biologisch abbaubar» entgegenzuwirken, muss das Verständnis der Verbraucherinnen und Verbraucher zu den Eigenschaften deutlich erhöht werden. Einfach verständliche Hinweise würden den Anwender*innen bei der richtigen Entsorgung von Haushaltsabfällen, wie z.B. Verpackungen, helfen. Das betrifft nicht nur biobasierte und biologisch abbaubare Polymere, sondern alle Produkte, die im Haushalt als Abfälle anfallen. Insbesondere Verpackungen, die aus unterschiedlichen Komponenten bestehen, von denen mindestens eine recycelt werden soll, erfordern eine eindeutige Zuordnung zu einer der verschiedenfarbigen Tonnen, die jedem Bürger zur Verfügung stehen.

2.5. Biobasierte Polymere können in bestehende Verwertungswege integriert werden

Nicht abbaubare, aber biobasierte Polymere sind z.B. Drop-In-Biokunststoffe, die identische Eigenschaften wie ihr fossiles Pendant aufweisen, z.B. Polyethylen aus nachhaltig hergestelltem Ethanol oder biobasiertes PET (Bio-PET). Bio-PET kann problemlos zusammen mit fossilem PET gesammelt und recycelt werden. Dies ermöglicht eine leichte Integration in den bestehenden Kreislauf der Getränkeflaschen-Sammlung und zumindest den Einstieg in die Verwendung biobasierter Materialien. Bio-PET besteht zu 30 % aus biobasierten Rohstoffen (nur eines der beiden zur Herstellung notwendigen Monomere ist aus nachwachsenden Rohstoffen darstellbar).

Das chemische Recycling wird neue Optionen hinsichtlich der Verwertung von fossilen und von biobasierten Polymeren eröffnen, z.B. könnte die Terephthalsäure aus der enzymatischen Spaltung von PET wiederum als Rohstoff für andere chemische Syntheseprozesse verwendet werden. Um das Verständnis zur begrifflichen Differenzierung zu steigern, müssen sinnvolle Lebensende-Optionen klar identifiziert werden und die Produkte entsprechend eindeutig gekennzeichnet werden.

2.6. Normen und Nachweise

Der Zertifizierung von Produkten gehen erfolgreich absolvierte Prüfungen gemäß international vereinbarter Standards, d.h. Normen, voraus. Damit werden bestimmte Eigenschaften von Produkten garantiert. Die Bestimmung des NawaRo-Anteils, sowohl in der Kunststoff-Neuware als auch im Rezyklat, erfolgt durch eine simple, schnelle und kostengünstige Bestimmung des Gehalts an ¹⁴C-Isotopen (nach ISO 16620-2:2015 oder CEN/TS 16640:2017) und wird von anerkannten, unabhängigen Zertifizierungsstellen, wie z.B. DIN Certco, durch ein Zertifikat bestätigt [6]. Diese Kohlenstoff-Isotope sind typischerweise nur in biobasierten Kohlenstoffverbindungen enthalten, nicht aber in fossilbasierten. Somit können biobasierte Kunststoffe leicht von solchen aus fossilen Rohstoffen hergestellten unterschieden werden und alle an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure erhalten eine Garantie für die Herkunft der Rohstoffe. Der Nachweis, ob ein Produkt aus einem fossilen Polymer, einem biobasierten Polymer oder einer Mischung aus beiden hergestellt wurde, ist also leicht zu erbringen. Daher sollte auch nur der nachweisbare Gehalt an nachwachsenden Rohstoffen auf einem Produkt angegeben werden.

Ebenso wie fossil basierte Polymere, müssen auch biobasierte und biologisch abbaubare Polymere und die daraus gefertigten Produkte eine Vielzahl rechtlicher Normen erfüllen. Diese beziehen sich einerseits auf die verwendeten Rohstoffe und Monomere, die z.B. durch die europäische REACH-Verordnung geregelt sind, andererseits auf den Einsatzbereich der Produkte, wenn diese z.B. als Verpackungen für Lebensmittel dienen und dabei

mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Hier bestimmen die EU-Verordnungen (EU) Nr. 1935/2004 und (EU) 10/2011 (PIM) die Einsatzmöglichkeiten von Polymeren und den verwendeten Additiven. Sie sind nach «guter Herstellungspraxis so herzustellen, dass sie unter den normalen oder vorhersehbaren Verwendungsbedingungen keine Bestandteile auf Lebensmittel in Mengen abgeben, die geeignet sind, die menschliche Gesundheit zu gefährden oder eine unverträgliche Veränderung der Zusammensetzung (...) oder eine Beeinträchtigung der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel herbeiführen».

2.7. Abfallrechtliche Rahmenbedingungen

Die Verwertung von Verpackungen und Serviceverpackungen über die Kompostierung oder Vergärung ist nach deutschem Recht grundsätzlich nicht erlaubt, selbst wenn es ökologische Vorteile brächte. Leichtverpackungen aus Kunststoff, Metall oder Verbunde müssen in Deutschland bei einem dualen Systembetreiber lizenziert und über die gelbe Tonne/den gelben Sack eingesammelt bzw. auf Wertstoffhöfe gebracht werden. Langlebige Produkte enden oft in der grauen Tonne und damit in einer Verbrennungsanlage.

§21 des deutschen Verpackungsgesetzes, der die «ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte» vorschreibt, könnte die Entwicklung und Herstellung von Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen befördern. Nach Abs.1 Satz 2 soll «die Verwendung von Rezyklaten sowie von Nachwachsenden Rohstoffen» gefördert werden [7]. Dies soll dadurch erreicht werden, dass die Dualen Systeme, bei denen jeder Hersteller bzw. Inverkehrbringer einer Verpackung deren Einsammlung, Sortierung und ggf. Verwertung vorab bezahlen muss, geringere Gebühren für Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen oder mit hohem Rezyklat-Anteil verlangen als für vergleichbare Verpackungen aus fossilen Rohstoffen. Was wäre aber der Anreiz für die dualen Systembetreiber die Lizenzgebühren für ökologische Verpackungen zu senken, wenn die Kosten für die Sammlung und Sortierung gleich hoch sind wie für Verpackungen aus herkömmlichen Kunststoffen und auch das Rezyklat nicht teurer verkauft werden kann? Eine Steigerung der Material-Nachfrage wäre ein entscheidender Faktor für eine Verbesserung der Marktsituation von biobasierten Kunststoffen, was z.B. durch verpflichtende NawaRo-Quoten, ähnlich der zukünftigen Rezyklat-Quote für Kunststoff-Getränkeflaschen ab 2025, erreichbar wäre.

2.8. Politische Zielstellungen

Mit dem Erlass der Verordnung (EU) 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (Single Use Plastics Directive – SUPD) wurden verschiedene Einwegprodukte aus Kunststoff verboten. Dabei wurde der Kunststoffbegriff so weit gefasst, dass auch Biokunststoffe, selbst wenn sie in der Natur vorkommen und biologisch abbaubar sind, darunterfallen. Ebenso fallen Produkte darunter, die überwiegend aus Papier oder Pappe bestehen und mit einer dünnen Kunststoff-Schicht versehen sind. Gleichzeitig fördert aber die EU die Entwicklung der Bioökonomie mit größeren Summen. Dieses Beispiel zeigt, wie die Politik und die daraus folgende Gesetzgebung in sich widersprüchlich sein können. Die Wirtschaft wird durch solche Widersprüche nicht zur Investition in neue Materialien und Technologien im Bereich der Biokunststoffe animiert.

Generelle Schwierigkeiten bei der stofflichen Verwertung von Kunststoffen werden derzeit z.B. durch den Einsatz von Verbundverpackungen bzw. Multilayer-Verpackungen, in denen verschiedene Kunststoffe, Barrierematerialien, Farben und Additive untrennbar miteinander verbunden sind, verursacht. Der Ansatz des Design for Recycling und die Definition von Mindeststandards für die Recyclingfähigkeit könnten hier Verbesserungen bringen, weil sie dazu anregen, bereits bei der Konzeption von Kunststoffprodukten deren Rezyklierbarkeit zu bedenken. Besonders im Bereich des Ökodesigns können biobasierte Polymere zum Einsatz kommen. Hier ist die Etablierung von Verwertungsstrukturen entscheidend, um die Anwendungen entsprechend ihren Eigenschaften im technischen bzw. biologischen Kreislauf zu führen. Der möglichst geringe Einsatz von Additiven und Materialverbänden trägt dabei erheblich zur Verbesserung der Rezyklierbarkeit bei.

Das Thema Biopolymer-Recycling könnte ein besonders nachhaltiger Weg sein, um pflanzlichen Kohlenstoff im Kreislauf zu führen. Hier bieten sich, je nach Produkt, verschiedene Arten des Recyclings an. Verpackungen aus teilweise mit NawaRos hergestelltem Bio-PET werden entweder über Pfandflaschen-Rückgabe oder die gelbe Tonne erfasst und können

werkstofflich recycelt werden. Langlebige Produkte aus biobasierten Kunststoffen könnten über eine Wertstofftonne erfasst, durch Nahinfrarot-Sortierung abgetrennt und werkstofflich oder chemisch recycelt werden.

Biobasierte Produkte, die biologisch abbaubar sind, finden besonders in ökosensiblen Bereichen Anwendung: Textilien, Pflege- und Reinigungsprodukte oder Hygieneartikel, die momentan häufig Kunststoffrückstände in natürliche Kreisläufe einbringen und Produkte, die durch Verschleiß oder Abrieb zwangsläufig in die Natur gelangen, müssen durch biologisch abbaubare Produkte ersetzt und damit Mikroplastikeinträge in die Umwelt vermieden werden.

3. Literaturverzeichnis

- [1] Olivier, J., Peters, J. (2020): Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions – 2019 Report.
- [2] Cradle to Cradle – Wiege zur Wiege e.V. (2021)
- [3] nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH (2021): BioSinn – Steckbriefe sinnvoll biologisch abbaubarer Produkte auf Basis von Nachwachsenden Rohstoffen.
- [4] Bertling, J. et al. (2021): Kunststoffe in der Umwelt: Emissionen in landwirtschaftlich genutzte Böden.
- [5] C.A.R.M.E.N. e.V. (2022): Praxistest Bio-Beutel – Kreislaufwirtschaft mit kompostierbaren Obst- und Gemüsebeuteln.
- [6] DIN geprüft-Biobasiert XX%, vgl. <https://www.dincertco.de/din-certco/de/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/biobased-products/>
- [7] Weitere Informationen unter <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/>

back to the future! Mit der ältesten Industrie ins postfossile Zeitalter

Ist der Titel zu weit gefasst? Das Thema zu groß? Ja? Gut!

«Es geht um nicht weniger als den Entwurf einer neuen Gesellschaft.»

ChatGPT, 2023

Henrik Ratzow
Ziegler Group
Naturheld GmbH
Plößberg, Deutschland



back to the future! Mit der ältesten Industrie ins postfossile Zeitalter

1. Google Definition: Industrie, die f. «maschinelle Großproduktion, Gesamtheit der Fabrikbetriebe»

Der Sinn dieses Vortrages ist nicht, die Geschäftsberichte der Ziegler Group zu zitieren. Wir möchten klar unser Verständnis dafür zeigen, dass die nahe Zukunft riesige Veränderungen bereithält. Diese Veränderungen werden disruptiv sein für Bereiche unseres Lebens, die wir bisher kaum in Frage stellen und riesiges Potential mitbringen in vollkommen neuen Bereichen. Es wird anders, und anders ist nicht zwingend schlechter. Es ist viel wichtiger auf diese Entwicklungen flexibel zu reagieren als sich gegen Veränderung zu sperren, das ist aussichtslos.

Wer mehr über die Ziegler Group wissen möchte, wird hier fündig:
<https://www.ziegler.global/>

2. Degrowth und Deindustrialisierung

Das sind Worte, die vermehrt zu hören sind, wenn es um eine Gesellschaft geht, die die Klima Krise nicht weiter vorantreibt und ohne fossile Energieträger auskommt. Mal werden diese Begriffe genutzt, um eine drohende Zukunft der begrenzenden und alles beherrschenden Verzichts- und Verbots Ethik zu umschreiben, mal schwingt in Ihnen Hoffnung auf ein einfaches und nachhaltiges Leben voll Purpose und Achtsamkeit mit.

Spätestens seit der Club of Rome 1972 die Grenzen des Wachstums aufgezeigt hat, ist diese Kluft vorhanden. Für mich hat Tim Jackson mit «Wohlstand ohne Wachstum» 2011 einen weiteren Meilenstein gesetzt, um einen Entwurf einer zukunftsfähigen Gesellschaft zu ermöglichen. Er belegt in seiner Arbeit, das Wirtschaftswachstum nahezu immer mit dem ökologischen Fußabdruck korreliert. Und zwar auf allen ökonomischen Ebenen.

Wirtschaftswachstum korreliert aber eben auch mit anderen nicht unwichtigen Dingen, wie Lebenserwartung, Gleichberechtigung, Gesundheit, Teilhabe, Wissenschaft und vor allem Bildung. Zum Wachstum und den genannten Errungenschaften hat insbesondere die Industrialisierung einen unschätzbaren Anteil geleistet, so dass wir die Industrie nicht per se ablehnen sollten. Die Industrieunternehmen aber, die sich diesem Thema nicht annehmen und der Frage nach einer zukünftigen Ausrichtung aus dem Weg gehen, werden sicherlich immer öfter mit der Frage nach dem konkreten Sinn der Arbeit an den Standorten konfrontiert. Von Umweltverbänden, von Nachbarn, vereinzelt von der Politik und, das wird mit dem Generationswechsel im Arbeitsmarkt immer deutlicher, von den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern.

3. Postfossil ist nicht Postindustriell

Die Holzverarbeitung ist sicherlich eine der ältesten Handwerkskünste, die älteste Industrie aber stellt sie nicht. Als älteste Industrieform gilt die Textilproduktion, die Weberei, und dafür gibt es gute Gründe, von denen sich in der heutigen Situation wichtige Erkenntnisse ableiten lassen.

Die Textilproduktion hat drei wesentliche Merkmale, die sie für die Industrialisierung prädestinierte:

Es war ein Arbeits- und Zeitintensiver Prozess, aus Wolle per Hand Gewebe herzustellen. Das bedingt auch, dass der Preisunterschied von Ausgangs- zu Endprodukt sehr hoch war. Es lohnte sich also große, zentrale Standorte zu erschließen und auszubauen.

Dabei ist der Prozess höchst repetitiv und mechanisch, lässt sich also maschinell in großen, industriellen Maßstäben umsetzen.

Der dritte und vielleicht entscheidende Vorteil gegenüber einer Industriellen Sägewerksproduktion und Holz Verarbeitung ist folgender: Wolle, das Ausgangsmaterial, wie auch Stoff, das Endprodukt, lässt sich gut transportieren, selbst auf Holzbooten und Pferdekarren.

Während die Produktionsenergie mit Wasser- und Dampfkraft erzeugt wurde, gab es für den Transport der Waren mit dem Anfang der Industrialisierung noch keine neuen flächigen Netze. Und Holz ist bekanntlich schwer und sperrig, nur über den Wasserweg ließen sich größere Mengen Holz über lange Strecken flößen, wobei es für den Abtransport der Schnittholzwaren keine schlagkräftige Lösung gab. Daher sind noch viele kleine, dezentrale Sägewerke überall zu finden und teilweise auch heute noch konkurrenzfähig. Erst ein Ausbau der Schienennetze und günstige Dampfmaschinen mit der dazu gehörigen Kohle Versorgung ermöglichen den Schritt der Schnittholzproduktion zur Industrie.

Die Prozessenergie stand also zur Verfügung, der Transport der Waren war der entscheidende Bottleneck der Industrialisierung der Holzverarbeitung.

4. Holz als Weltmarktprodukt

Der Holzpreis heute ist im Wesentlichen vom Weltmarkt abhängig. Das ist eigenartig, denn schließlich ist Sägewerks Technik relativ einfache Technik. An der Schnittholz Herstellung hat sich schematisch in den letzten 200 Jahren nicht viel getan: Ein Baum wird durch eine Anordnung von Sägen geschoben. Diese Technik kann überall entstehen, wo Bäume wachsen, und Holz gebraucht wird.

Trotzdem exportiert die Ziegler Group, wie alle anderen großen europäischen Sägewerke auch, Holz Produkte in zahlreiche Regionen Weltweit, darunter solche wie Nordamerika, wo es sehr gute Vorräte an Sägefähigen Hölzern gibt. Im Gegenzug gibt es aber kaum amerikanische Hölzer hier, western red cedar oder yellow pine findet man hier nur, wenn in Altbauten die Dielenböden oder Treppen saniert werden.

Der Grund dafür ist, dass bei uns zahlreiche andere Waren aus allen Teilen der Welt ankommen, in Containern, die ihren Weg wieder zurückfinden müssen, nach Möglichkeit nicht leer. Es ist ein globales Handelsgeflecht, das den Holzmarkt mitträgt und mit dem viele Kosten derzeit externalisiert werden können. Das hat zur Folge, dass die Transportkosten und damit auch die ökologischen und ökonomischen Kosten des Weltmarktproduktes Holz nicht angemessen berücksichtigt werden. Das wird sich ändern.

Der Klima Wandel verläuft exponentiell und verursacht exponentiell steigende Kosten und Nöte, so sinkt beispielsweise die Lebensmittelproduktion mit jedem Grad Zunahme der mittleren globalen Temperatur um etwa 10%. Wir werden eher früher als später an einen Punkt kommen, an dem jedes Gramm CO₂ eingespart werden muss, um nahezu jeden Preis. Bei einer langen Amortisationszeit von Industriellen Produktionsanlagen ist es notwendig, solche Entwicklungen zu berücksichtigen. Und während die Ziegler Group auf einem guten Weg ist, die Produktionsenergie durch eigene Stromerzeugung und die Nutzung von Sägewerks Abfällen als Energieträger zu 100% zu decken, können wir die fossile Transportenergie durch unsere Bahnhöfe und eigene Logistik optimieren, aber lange nicht zu 100% substituieren.

Wieder wird der Warentransport das Bottleneck der Industrie.

5. Wohin Wachsen?

Mit dieser Analyse ist Wachstum an einem Standort schwierig. Industrialisierung ist immer eine Zentralisierung. Der Wertzuwachs durch den Produktionsprozess muss die höher sein als die zusätzlichen Transportkosten durch den wachsenden Radius für den An- und Abtransport von Waren, wenn ein Standort wächst, ohne, dass sich der Produktionsprozess oder die Nachfrage verändert. Wachstum durch den Zukauf oder Aufbau von mehreren, dezentralen Standorten ist eine Möglichkeit, die andere Holzverarbeitende Industrieunternehmen nutzen, um ihren Marktanteil trotzdem auszubauen. Die Ziegler Group geht einen anderen Weg, denn nicht nur die Industrie wird mit weniger Energie auskommen müssen. Durch die großen Veränderungen der Energienutzung und Verfügbarkeit ergeben sich auch gesellschaftliche Veränderungen, die eine große Herausforderung darstellen, in denen aber auch großes Potential liegt. Die Grundbedürfnisse der Menschen bleiben gleich, und wenn sich Warenströme und Verfügbarkeit ändern, entstehen neue Möglichkeiten, diese Bedürfnisse zu decken. Wer Heizenergie kauft, will ja eigentlich keine Heizenergie, sondern eine warme Wohnung, und dahin führen auch andere Wege. Industriebetriebe können versuchen, diese Wege auszubauen und zu verbessern, zum Beispiel durch ein Angebot an preiswerten, pflanzenbasierten Dämmstoffen.

6. Wir werden anders Wohnen

Das Thema Energie neutrale Wohnkonzepte ist mittlerweile fast allgegenwärtig, nur umgesetzt wird es selten. Fast nur in einzelnen Leuchtturm Projekten, die ein proof of concept sind, aber keine Lösung gesellschaftlicher Bedürfnisse bieten.

Der Austausch eines Materials durch ein anderes, zum Beispiel Ziegelsteine durch Holzkonstruktionen, ist ein Schritt in die richtige Richtung, reicht aber allein nicht aus, um wirklich zukunftsfähigen Wohnraum zu schaffen. Die Energieversorgung, die Rückbaubarkeit der Gebäude, die Nachnutzung von Bauteilen oder Gebäuden, die Ausrichtung der Gebäude, um Sonnenenergie zu nutzen, Die Gebäudekubatur, um Energieverluste zu vermeiden, Energiespeichermöglichkeiten, das sind alles Themen, die die Gebäudequalität in Zukunft bestimmen werden.

7. Wachstum in die Tiefe

Daher ist Serielles, konsequent nachhaltiges Bauen der Weg, den Stefan Ziegler für die Zukunft des Unternehmens eingeschlagen hat. Und dabei geht es um mehr, als nur das eigene Holz als Baustoff zu nutzen.

Zur Ziegler Group gehören derzeit rund 2600 Mitarbeiter, 33 Standorte und wir erwirtschafteten 2022 etwa 1,05mrd Umsatz. Von 2020 bis 2023 werden sich die Zahl der Mitarbeitenden und der Umsatz gut verdreifachen.

Kern des Unternehmens ist Plößberg in der Oberpfalz und die regionale Bindung ist deutlich zu merken und ein wichtiger Aspekt in der Unternehmens Strategie. Die Belegschaft ist, gerade in der Verwaltung, sehr jung und divers und die Arbeitsmodelle sehr vielfältig. Es ist allerdings eine Herausforderung, sowohl der Produktionsbelegschaft in den Industrieprozessen gerecht zu werden als auch Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, die moderne Ansprüche an Flexibilität und flache Hierarchien haben. Ein hoher Automatisierungsgrad, effiziente und gut organisierte Produktionsanlagen und gut vernetzte Standorte helfen dabei mit relativ wenigen Mitarbeitern eine hohe Produktivität zu gewährleisten.

Der Schritt von einem Sägewerk hin zu einem Hersteller und Komplettanbieter für Holzgebäude ist nicht zuletzt aufgrund von baurechtlichen und bauproduktrechtlichen Vorgaben ein großer, für den es sehr viel spezielles know how braucht.

Ausgehend von einem Sägewerk sind Holzernte und Transport durch Ziegler Forstservice dazugekommen. Für den Warentransport sind Bahnhöfe und eine große Logistikabteilung vorhanden. In den letzten Jahren kamen Unternehmen für den Holzbau dazu. Mit der Zimmerei Ziegler, Ziegler Haus, Engelhardt & Geissbauer und Ziegler Modulbau existieren vier Standorte für die Produktion von Holzhäusern in Holzrahmenbau, Massivholz- und Modulbauweise. Anfang dieses Jahres startet der Verkauf der Holzfaserdämmstoffe der naturheld GmbH von der modernsten Produktionsanlage in Europa. Naturenergie liefert Holzpellets aus den Produktionsresten, thermoheld liefert Heizsysteme.

Zur Ziegler Group gehören neben Fenster- und Küchen Produktion auch Unternehmensteile, die neue elektrische Heizungsanlagen oder Kaminöfen Bauen und Planen. Wir beschäftigen uns mit der Nutzung von Wasserstoff und der niedervolt Stromversorgung, um Gebäude mit einer weitgehend autarken Energieversorgung zu entwickeln und für die breite Maße der Bevölkerung zugänglich zu machen.

Die vollständige Integration von nahezu allem, was ein Gebäude ausmacht in ein Unternehmen, ermöglicht es uns, Fertigungsprozess und Logistik ideal aufeinander abzustimmen. Es vermeidet zum Beispiel unnötige Verpackungen, Leerfahrten und Verschnitt Abfälle. Wir können Expertise aus verschiedenen Bereichen nutzen und Synergien schaffen.

Der wichtigste Aspekt ist für mich der, dass wir damit in der Lage sind wirklich neue Wege zu gehen. Wir können neue Gebäudekonzepte entwickeln und sehr kostengünstige Lösungen anbieten, um das Grundbedürfnis nach Wohnraum so klimaneutral und umweltschonend wie möglich zu bedienen.

Die Akzeptanz der Tatsache, dass sich unsere Lebensweise und Gesellschaft grundlegend verändern wird, schafft also auch für Industrieunternehmen große Chancen, wenn sie bereit sind, sich dieser Veränderung anzunehmen.

back to the future! With the oldest industry into the post-fossil age

Is the title too broad? The topic too big? Yes? Great!

«It's about nothing less than the design of a new society.»

ChatGPT, 2023

1. Google definition: industry f. «large-scale mechanical production, totality of factories»

The purpose of this lecture is not to quote the Ziegler Group's annual reports. We want to clearly show our understanding that the near future holds huge changes. These changes will be disruptive for areas of our lives that we have hardly questioned so far and will bring huge potential in completely new areas. It will be different, and different is not necessarily worse. It is much more important to react flexibly to these developments than to resist change, which is hopeless.

If you want to know more about the Ziegler Group, you will find it here:

<https://www.ziegler.global/>

2. Degrowth and deindustrialization

These are words that are heard more and more when it comes to a society that is not driving the climate crisis any further and can get by without fossil fuels. Sometimes these terms are used to describe a threatening future of limiting and all-dominating ethics of renunciation and prohibition, sometimes they resonate with hope for a simple and sustainable life full of purpose and mindfulness.

At least since the Club of Rome pointed out the limits of growth in 1972, this gap has existed. For me, Tim Jackson set another milestone with «Prosperity without Growth» in 2011 in order to enable a blueprint for a sustainable society. In his work, he proves that economic growth almost always correlates with the ecological footprint. And at all economic levels.

However, economic growth also correlates with other things that are not unimportant, such as life expectancy, equality, health, participation, science and, above all, education. Industrialization in particular has made an invaluable contribution to growth and the achievements mentioned, so that we should not reject industry per se. However, the industrial companies that do not address this issue and avoid the question of a future orientation are certainly more and more often confronted with the question of the specific meaning of the work at the locations. From environmental associations, from neighbours, occasionally from politics and, as is becoming increasingly clear with the generational change in the labor market, from employees.

3. Post-fossil is not post-industrial

Woodworking is certainly one of the oldest crafts, but it is not the oldest industry. Textile production, weaving, is considered to be the oldest form of industry, and there are good reasons for this, from which important insights can be derived in the current situation.

Textile production has three essential characteristics that predestined it for industrialization:

It was a laborious and time-consuming process to make fabrics from wool by hand. This also means that the price difference between the starting product and the end product was very high. It was therefore worth opening up and expanding large, central locations.

The process is highly repetitive and mechanical, so it can be implemented mechanically on a large, industrial scale.

The third and perhaps decisive advantage over industrial sawmill production and wood processing is as follows: Wood, the starting material, as well as fabric, the end product, can be transported easily, even on wooden boats and horse-drawn carts.

While the production energy was generated with water and steam power, there were no new flat networks for the transport of goods at the beginning of industrialization. And wood is known to be heavy and bulky, large quantities of wood could only be transported over long distances by water, although there was no effective solution for transporting the sawn timber goods away. Therefore, there are still many small, decentralized sawmills to be found everywhere and some of them are still competitive today. Only an expansion of the rail network and cheap steam engines with the associated supply of coal made it possible for sawn timber production to become industrial.

The process energy was therefore available, and the transport of the goods was the decisive bottleneck in the industrialization of wood processing.

4. Wood as a world market product

The wood price today is essentially dependent on the world market. That's strange, because after all, sawmill technology is relatively simple technology. Schematically, not much has changed in the production of sawn timber in the last 200 years: A tree is pushed through an arrangement of saws. This technique can arise anywhere where trees grow and wood is needed.

Despite this, the Ziegler Group, like all other major European sawmills, exports timber products to numerous regions around the world, including such as North America, where there are very good supplies of sawable timber. On the other hand, there are hardly any American woods here, western red cedar or yellow pine can only be found here when the floorboards or stairs in old buildings are renovated.

The reason for this is that we receive numerous other goods from all parts of the world in containers that have to find their way back, if possible not empty. It is a global trade network that supports the timber market and with which many costs can currently be externalized. As a result, the transport costs and thus also the ecological and economic costs of the world market product wood are not adequately taken into account. That's going to change.

Climate change is exponential and causes exponentially increasing costs and hardships, for example food production decreases by about 10% with every degree increase in mean global temperature. Sooner rather than later, we will reach a point where every gram of CO₂ must be saved, at almost any cost. With a long amortization period for industrial production plants, it is necessary to take such developments into account. And while the Ziegler Group is well on the way to covering 100% of the production energy through its own power generation and the use of sawmill waste as an energy source, we can optimize the fossil transport energy through our train stations and our own logistics, but are far from 100% substituting it.

Again the transport of goods becomes the bottleneck of the industry.

5. Where to grow?

With this analysis, growth in one location is difficult. Industrialization is always centralization. The added value from the production process must be higher than the additional transport costs due to the increasing radius for transporting goods to and from the site when a location grows without the production process or demand changing. Growth through the acquisition or construction of several, decentralized locations is an opportunity that other wood-processing industrial companies use to expand their market share anyway. The Ziegler Group is taking a different approach, because not only industry will have to make do with less energy.

The major changes in energy use and availability also result in social changes that pose a major challenge, but also have great potential. The basic needs of people remain the same, and when flows of goods and availability change, new ways of meeting those needs emerge. Whoever buys heating energy does not actually want heating energy, but a warm apartment, and there are other ways to get there. Industrial companies can try to expand and improve these ways, for example by offering inexpensive, plant-based insulating materials.

6. We will live differently

The topic of energy-neutral living concepts is now almost omnipresent, but it is rarely implemented. Almost only in individual lighthouse projects that are a proof of concept but do not offer a solution to social needs.

Replacing one material with another, for example bricks with wooden structures, is a step in the right direction, but it is not enough on its own to create truly sustainable housing. The energy supply, the ability to dismantle the building, the subsequent use of components or buildings, the orientation of the building to use solar energy, the building cubature to avoid energy losses, energy storage options, these are all issues that will determine the quality of buildings in the future.

7. growth in depth

Therefore, serial, consistently sustainable construction is the path Stefan Ziegler has taken for the company's future. And it's about more than just using your own wood as a building material.

The Ziegler Group currently has around 2,600 employees, 33 locations and we generated around 1.05 billion in sales in 2022. From 2020 to 2023, the number of employees and sales will more than triple.

The core of the company is Plößberg in the Oberpfalz, the regional connection is clearly noticeable and an important aspect of the corporate strategy. The workforce is very young and diverse, especially in administration, and the working models are very diverse. However, it is a challenge to do justice both to the production workforce in the industrial processes and to employees who have modern demands for flexibility and flat hierarchies. A high degree of automation, efficient and well-organized production facilities and well-connected locations help to ensure high productivity with relatively few employees.

The step from a large sawmill to a manufacturer and full-service provider for wooden buildings is a big one, not least because of building law and building product regulations, which requires a lot of special know-how.

Starting from a sawmill, timber harvesting and transport by Ziegler Forest Service have been added. Train stations and a large logistics department are available for the transport of goods. In recent years companies for timber construction have been added. With the carpentry Ziegler, Ziegler Haus, Engelhardt & Geissbauer and Ziegler Modulbau there are four locations for the production of wooden houses in timber frame construction, solid wood and modular construction. At the beginning of this year, naturheld GmbH started selling wood fiber insulation materials from the most modern production plant in Europe. Natural energy supplies wood pellets from the production residues, thermoheld supplies heating systems.

In addition to window and kitchen production, the Ziegler Group also includes parts of the company that build and plan new electrical heating systems or stoves. We deal with the use of hydrogen and low-voltage power supply in order to develop buildings with a largely self-sufficient energy supply and to make them accessible to the general public.

The complete integration of almost everything that makes up a building in a company enables us to ideally coordinate the production process and logistics. For example, it avoids unnecessary packaging, empty runs and waste. We can use expertise from different areas and create synergies.

For me, the most important aspect is that we are able to break new ground. We can develop new building concepts and offer very cost-effective solutions to meet the basic need for living space in the most climate-neutral and environmentally friendly way possible.

Accepting that our way of life and society will change fundamentally also creates great opportunities for industrial companies if they are willing to accept this change.

Sponsoren und Aussteller



binderholz Bürogebäude Baruth | D



Quartier Prinz-Eugen-Park, München | D



Wohnbau 'Haus auf Stelzen' Tillystraße, Regensburg | D



King's Cross Sports Centre, London | GB

Komplettanbieter für Massivholzprodukte und innovative Baulösungen

Mit unseren Massivholzprodukten und innovativen Baulösungen werden weltweit Gebäude unterschiedlichster Verwendung durch Kunden und Partnerbetriebe errichtet. Modernste CNC-Technologie ermöglicht jegliche Bearbeitung unserer massiven Holzbauprodukte. Die kompetente binderholz Technikabteilung unterstützt Sie bei der Erarbeitung verschiedenster Gebäudekonzepte und der technischen Planung. Für durchdachte Massivholzbaulösungen beraten Sie unsere Ingenieure mit fundiertem Fachwissen.

Sägeprodukte | Holzbauprodukte: Brettsper Holz BBS, Brettschichtholz, Massivholzplatten, Konstruktionsvollholz | DIY-Produkte | Pressspanpaletten und -klötze | Biobrennstoffe | Pferdestreu

**Weil wir es lieben, wenn
Ihr Plan funktioniert.**

www.egger.com/digitaleplanung



Kostensenkung, Zeitersparnis, Planungssicherheit und höhere Qualität – so lautet der Plan. Mit unseren geprüften und zertifizierten Konstruktionen ist das möglich. Einfach die bewährten Bauteile in den passenden digitalen Datenformaten herunterladen und in Ihr BIM- oder CAD-System integrieren. **Mit der EGGER Planungshilfe geht Ihr Plan auf.**

MEHR AUS HOLZ.

E EGGER



Klimavorteil Zellulose – ein Rechenbeispiel

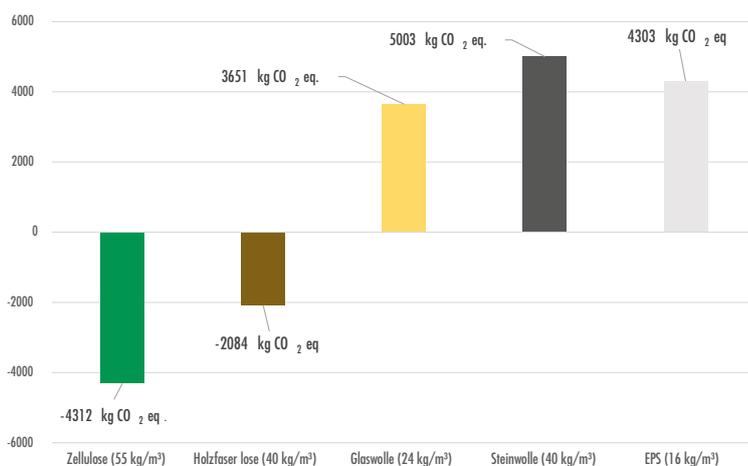
Jedes Bauprodukt benötigt unterschiedlich viel Energie in der Herstellung. Sind thermische Prozesse notwendig, wie beispielsweise bei Glaswolle, so steigt der Energiebedarf rasant und wird aufgrund der notwendigen Temperaturverhältnisse häufig mit fossilen Brennstoffen gedeckt. Sobald die verwendete Energie nicht aus erneuerbaren Quellen stammt, entstehen klimawirksame Emissionen. Folglich werden bei der Produktion von jedem Bauprodukt unterschiedlich viele Treibhausgase emittiert. **Bei der Produktion von Zellulose sind grundsätzlich keine energieintensiven Prozesse notwendig.** Der entstehende Strombedarf, wie etwa zum Betreiben der Mühle, wird zu 100 % aus erneuerbaren Quellen gedeckt.

Durch den Einsatz von Zellulose können Klimafolgekosten vermieden werden. Gleichzeitig wird mit **jedem Kilogramm eingesetzter Zellulose der Ausstoß von CO₂ in der Höhe von 1,21 kg kompensiert, wodurch ein spezifischer „Klimabonus“ entsteht.** Die Abgeltung dieses Bonus ist je nach Nation im Steuersystem meist (noch) nicht vorgesehen (abseits von länderspezifischen Förderungen für ökologisches Bauen), weshalb in diesem Fall nur von indirekten finanziellen Auswirkungen gesprochen werden kann. Diese Kosten werden derzeit in Form von Steuern durch die Allgemeinheit getragen.

“Mit jedem Kilogramm eingesetzter Zellulose wird der Ausstoß von CO₂ in der Höhe von 1,21 kg kompensiert.”



CO₂ – BILANZ DER DÄMMUNG EINES EFH Dämmvolumen 65 m³



Quelle: baubook.info; ISOCELL Zellulose; HF, GW, SW & EPS: Richtwerte gem. baubook office@isocell.at

Hier finden Sie die Broschüre
KLIMAVORTEIL ZELLULOSE



Wer sich für ISOCELL Zelloosedämmung entscheidet,
betreibt aktiven Klimaschutz!



fermacell® Gipsfaser-Platte

Die Basis für effizienten, nachhaltigen Holzbau

fermacell® Gipsfaser-Platten sind CO₂-negativ.

Profitieren Sie von kurzen Bauzeiten dank schlanker Wandkonstruktionen und hoher Vorfertigungsmöglichkeiten, und setzen Sie mit fermacell® Standards für effizientes, nachhaltiges Bauen.



FERMACELL® GIPSFASER-PLATTE

Bester Schutz vor Bauschäden und Schimmel

SOLITEX® ADHERO

Vollflächig klebende, diffusionsoffene Luftdichtungs- und Witterungsschutzbahn



mehr info



Ermöglicht Herstellung der Luftdichtheit auf Holzwerkstoffen und mineralischen Untergründen

Temporärer Baueitenschutz auf Zwischendecken von mehrgeschossigen Bauten in CLT- und Holzrahmenbauweise

Trockene Konstruktion: Diffusionsfähig und maximal schlagregendicht

Leicht und sicher zu verarbeiten

Haftet sofort auf tragfähigen Untergründen

Extrem alterungs- und hitzebeständig

3 Monate Freibewitterung



Schadstoffgeprüft nach
AgBB
Nach den Kriterien des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten beim Umweltbundesamt

AEROSANA® VISCONN

Sprühbare Luftdichtung mit feuchtevariablem s_d -Wert



mehr info



Einfach aufspritzen

Fläche und Details

Holzbau, Mauerwerk, Beton

Übergänge schneller dicht



Schadstoffgeprüft nach
AgBB
Nach den Kriterien des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten beim Umweltbundesamt



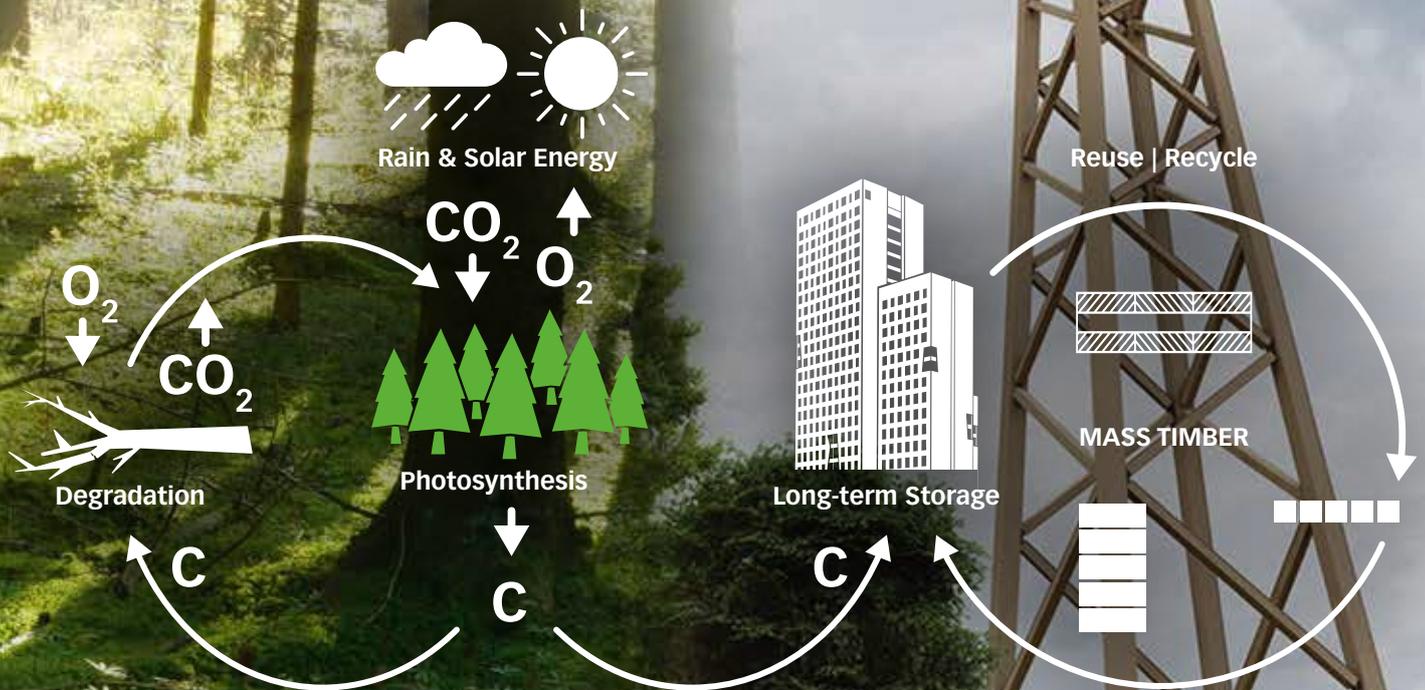
Planungshandbuch pro clima WISSEN
Kostenfrei anfordern
proclima.de/wissen

Fokus

Qualität & Innovation

HASSLACHER
NORICA TIMBER

From **wood** to **wonders**.



HASSLACHER Green Tower
Holz-Hybridturm für Windkraftanlagen
3,8 MW | 137 m Nabenhöhe

hasslacher.com



100% überzeugt
CO₂-neutral zu werden

Unser Weg zu einer besseren Zukunft?

Eine aktive Förderung des Holzbaus seit über 30 Jahren.
Eine bewusste Wahl von nachhaltigen Produkten.
Eine Umweltkennzeichnung unserer Produkte (EPD-Zertifizierung)

**Erfahren Sie mehr über unsere ökologische Dampfbremse
VAPOR IN GREEN 200 und folgen Sie uns in unserem Bestreben
für ein verantwortungsvolles Bauen.**

Entdecken Sie all unsere Produkte, Dienstleistungen und Kontakte
auf rothoblaas.de



**rothoblaas**

Solutions for Building Technology



Gut für das Weltklima. Gut für das Raumklima.

Ökologisch sanieren mit STEICO

STEICO Holzfaser-Dämmstoffe und Konstruktionsprodukte verwandeln Altbauten in Kohlenstoffsinken – und tragen gleichzeitig zu einem wohngesunden Raumklima bei.

Mit einer **CO₂-Speicherung von bis zu 420 kg/m³** nehmen STEICO Dämmstoffe eine führende Position unter den Naturdämmstoffen ein.

Darüber hinaus überzeugen STEICO Dämmstoffe gerade bei Sanierungen durch ihr breites Vorteilsspektrum: hervorragende Wärmedämmung kombiniert mit exzellentem Hitzeschutz im Sommer; Witterungsschutz und Diffusionsoffenheit zum Schutz der Konstruktion sowie ihre Feuchte ausgleichenden Eigenschaften machen einen spürbaren Unterschied.

Gut zu wissen

Laut Bauprodukte-Datenbank baubook.at leisten Holzfaser-Dämmstoffe einen Beitrag, die Erderwärmung zu reduzieren – wohingegen viele konventionelle Dämmstoffe zur Erderwärmung beitragen.



Ökologische
Holzfaser-Dämmstoffe



Innovative Holztragwerke:
Stegträger + Furnierschichtholz

STEICO
Das Naturbausystem



Akustischer Komfort & zeitloses Design

Akustik Paneele aus Massivholz



3D Bibliothek
PBR-Standard / 8K



NOVATOP 



NEU

Wetguard: Transparente Feuchteschutz- Membrane von SIGA

SIGA Wetguard ist die neue vollflächig selbstklebende Feuchteschutz-Membrane und kann bereits werkseitig, in der Vorfertigung, oder auf der Baustelle montiert werden.

SIGA Wetguard 200 SA schützt vorgefertigte Holzelemente zuverlässig vor Feuchtigkeit und Beschädigungen während Lagerung, Transport, Montage und der Bauphase und verhindert damit Feuchteschäden wie Verfärbungen im Sichtbereich oder Spannungen und Massungenauigkeiten durch Aufquellen der Elemente.

Über Wetguard

SIGA Wetguard ist diffusionsfähig und mit einer rutschfesten und wasserdichten Spezialbeschichtung ausgerüstet. Das robuste Vlies schützt vor mechanischer Beschädigung und der vollflächig aufgebrachte SIGA-Hochleistungsklebstoff sorgt für sichere Haftung auf Holzoberflächen. Mit der transparenten Optik von SIGA Wetguard bleiben nicht nur

im Werk angebrachte Markierungen oder Durchdringungen sichtbar, sondern auch die charakteristische Oberflächenstruktur des Werkstoffes Holz.

Die Folie ist robust gegenüber mechanischer Belastung und auch bei Nässe rutschfest. Der formstabile Träger ermöglicht einfaches, schnelles und faltenfreies Verlegen und ist sofort dicht verklebt. SIGA Wetguard ist in drei Produktdimensionen (1560mm / 780mm / 390mm x 50m) erhältlich. Für spezielle Anwendungen können nach Kundenwunsch verschiedene Dimensionen und Ausführungen hergestellt werden.

SIGA Wetguard sorgt für maximale Sicherheit über den gesamten Bauablauf und erspart dem Handwerker zusätzliche Arbeitsschritte und Zeit. Damit ist sie die ideale Abdichtung während der Bauzeit, ob für einfache oder herausfordernde Holzbauprojekte.

#HolzKannDas

Natürlich. Nachwachsend.



Bild: FNR/Markus Guhl

holz.fnr.de

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Wir fördern klimafreundliche Innovationen für die holzbasierte Wirtschaft im Auftrag des BMEL



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Funderplan – ressourcenschonend und nachhaltig

- statisch belastbares Produkt für die raumseitige Beplankung
- frisches Faserholz aus nachhaltig zertifizierter regionaler Forstwirtschaft
- GreenHouseWarming Potential von $-1.370 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
- Herstellung mit 100% selbst erzeugter zertifizierter Öko-Energie
- durch Sentinel Haus Institut auf QNG-Kriterien geprüft
- aktive Teilnahme am DBU-Forschungsprojekt Nachhaltigkeit

Fundermax GmbH
Mobil: +49 (0) 151 558 70 545
thomas.graf@fundermax.biz
www.fundermax.com

For you to create

Fundermax

Für uns Menschen: nachhaltig gesund, geschützt und wirtschaftlich

Das Bauen mit unserer Funderplan bindet CO_2 langfristig,
so als ob man sich den Wald ins Haus holt.



SENTINEL HAUS
INSTITUT





Holzbau: tested by ift Rosenheim



Brandschutz

- Feuerwiderstand
- Rauchschutz
- Brandverhalten
- Nachweise für EU, Nordamerika, UK, Arabischer Raum, Indien etc.
- Brandschutzkonzepte



Schall- dämmung

- Luftschall
- Schall-Längsleitung
- Trittschall



Bauphysik

- Wärmedämmung (U-Wert)
- Feuchteschutz
- Luftdichtheit
- Tauwasser



Mechanik + Festigkeit

- Holzbaustoffe
- Holzwerkstoffe
- Schrauben (Auszugsfestigkeit)
- Verbindungsmittel



Holzschutz

- Chemischer Holzschutz
- Holzarten
- Konstruktiver Holzschutz



Nachhaltigkeit

- Zertifizierung von Managementsystemen (Umwelt, Energie etc.)
- Erstellung von Ökobilanzen/EPDs
- CO₂-Fußabdruck (Produkte, Unternehmen)
- Nachhaltigkeitsberichte

Wir unterstützen Sie gerne!

ift Rosenheim GmbH
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Deutschland

E-Mail: info@ift-rosenheim.de
Telefon: +49 8031 261-0
Website: www.ift-rosenheim.de

Weitere Informationen

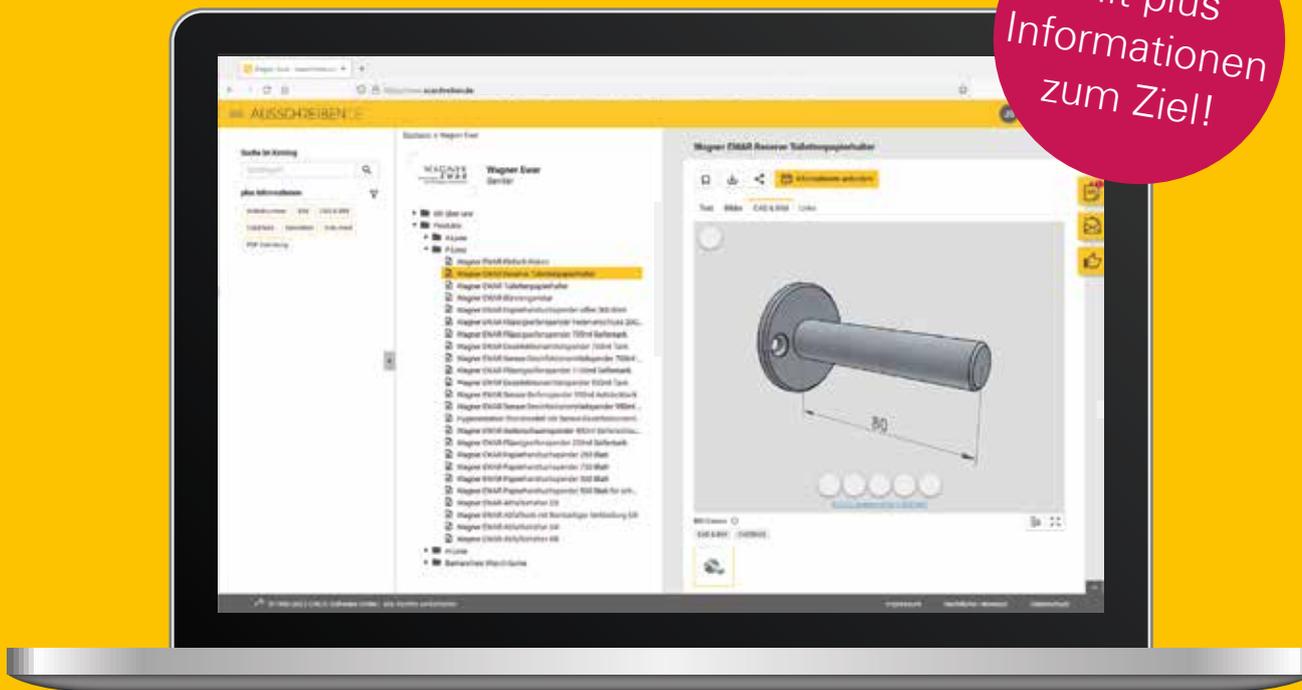


www.ift-rosenheim.de/holzbau

AUSSCHREIBEN.DE

Ausschreibungstexte **plus**

Mit plus
Informationen
zum Ziel!



Nutzen Sie kostenfrei über **1 Mio. Ausschreibungstexte** und **Zusatzinformationen** von **700 Herstellern**.

Gefunden? Export in 9 Datenformate

