ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IfB
Institut für Baustoffe
Institute for Building Materials

ETH Zürich
Institut für Baustoffe
Holzphysik
Schafmattstrasse 6
8093 Zürich

Forschungsbericht des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung Nr. 2008.10

Untersuchungen zur Verwertung von bei Laubholz anfallenden Holzresten

Abschlussbericht

Bearbeitungszeitraum: Juni 2009 bis Juni 2010

Verena Krackler, Andreas Hurst, Daniel Keunecke, Peter Niemz

Gesuchsteller: Prof. Dr. Peter Niemz (ETH Zürich)

Mitgesuchsteller: Prof. Dr. Andreas Hurst (BFH-AHB Biel)

Zürich, 15. Juli 2010

VORWORT

Diese Arbeit entstand im Rahmen einer zwölfmonatigen Recherche und beschäftigt sich mit der aktuellen Problematik der Laubholzverwertung. Im Mittelpunkt stehen die Möglichkeiten zur Verwertung von bei Laubholz anfallenden Holzresten. Gefördert wurde der Forschungsbericht durch den Fond zur Förderung der Wald- und Holzforschung.

Einen Dank gilt es dieser Stelle all jenen auszusprechen, die zum Gelingen des Berichtes beigetragen haben.

Besonders danke ich Prof. Dr. Peter Niemz (ETH Zürich) und Prof. Dr. Andreas Hurst (BFH-AHB Biel) als Projektinitiatoren für die fachliche Unterstützung während der Zeit.

Vielen Dank an Dr. Daniel Keunecke (ETH Zürich) für seine Ratschläge und das Korrekturlesen des Berichts.

Nachfolgend danke ich folgenden Personen und Unternehmen für ihre Meinungen, Hinweise und Informationen:

Christoph Affentranger (innovation wood, Zug)
Albiez AG (Rheinfelden-Schweiz)
Stephan Beerli (Beerli Holzwaren AG, Hörhausen)
Patrick Corbat (A+C Corbat SA, Vendlincourt)
Regina Emmenegger (EGGER Holzwerkstoffe Schweiz GmbH, Kriens)
Michael von der Gathen (Hamberger Flooring GmbH & Co. KG, Rosenheim)
Hanhartholz AG (Diessenhofen)
Daniel Hess (Hess & CO. AG)
Martin Howald (KRONOSPAN Schweiz AG, Menznau)
Thomas Hübner (A+C Corbat SA, Vendlincourt)
Günter Karbun (Fritz Egger GmbH & Co., St. Johann in Tirol)
Andreas Koller (Koller Sägerei AG, Attelwil)
Matthias Oelhafen (Pavatex SA, Cham)
Evelyn Pöhler (SAH c/o Lignum, Zürich)
Jörg Reimer (HWS, Reinach 2)
Manfred Reinkemeier (Abalon Hardwood GmbH, Heiligenkreuz/L.)
Thomas Rüger (Hedinger AG, Wilchingen)
Robert und Rolf Schafroth (Robert Schafroth AG, Möhlin)
Pascal M. Schneider (Ruedersäge AG, Schlossrued)
Dr. Udo Seifried (BFH-AHB, Biel)
Dr. Oliver Thees (WSL, Birmensdorf)
Xaver Widmer (Widmer Holz, Sempach-Station)

Abschliessend möchte ich dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die finanzielle Förderung des Projektes danken.

Verena Krackler • Juli 2010

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG/ZIELSTELLUNG 9

2 ANALYSE DER SCHWEIZER LAUBHOLZSITUATION 10

2.1 ANALYSE DER WALDBESTANDESSITUATION DER SCHWEIZ 10
2.2 GRÜNDE DER VERÄNDERTEN AKTUELLEN SITUATION DES BESTANDES 11
2.3 POLITISCHE INITIATIVEN 13
2.4 STRUKTUR DER SCHWEIZER SÄGE-, HOLZWERKSTOFF- UND ZELLSTOFFINDUSTRIE 14
2.4.1 Grösse und Kapazitäten von Laubholzsägewerken 14
2.4.2 Verarbeitungs- und Kapazitätsmengen der Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie 15

3 CHARAKTERISIERUNG DES LAUBHOLZES 18

3.1 NUTZBARER STAMMHOLZANTEIL VON LAUBHOLZ 18
3.2 ANATOMISCHER AUFBAU DES LAUBHOLZES 18
3.3 PHYSIKALISCH-MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VON LAUBHOLZ 19

4 ANALYSE DER STRUKTUR UND DES AUFKOMMENS VON LAUBHOLZRESTEN 21

4.1 HOLZVORRAT UND HOLZSORTIMENTE NACH DER HOLZERNTE 21
4.2 SORTIMENTE DES ABFALLHOLZES 22
4.3 SCHNITT- UND RESTHOLZSORTIMENTE AUS DEM SÄGEWERK 23
4.4 RESTHOLZMENGEN DURCH BEARBEITUNGSLÄUFE IN DER SÄGEINDUSTRIE 24
4.5 PRAKTISCH NUTZBARE SORTIMENTE ANHAND VON STATISTIKEN 26
4.6 HOLZRESTE MIT UNTERSCHIEDLICHEN ZERKLEINERUNGSSGRADEN 27

5 VERWERTUNGSSMÖGLICHKEITEN VON LAUBHOLZRESTEN 29

5.1 HOLZWERKSTOFFE 29
5.1.1 Spanwerkstoffe 29
5.1.2 Faserwerkstoffe 38
5.1.3 Leichtbauwerkstoffe 46
5.2 STOFFLICHE VERWERTUNG NEBEN HOLZWERKSTOFFEN 47
5.2.1 Lebensmittelherstellung 47
5.2.2 Verwendung als Filtermaterial 48
5.2.3 Werkstoffe aus Holzmehl und Holzspänen 49
5.2.4 Holzwolle und Holzwolle-Platten (HWL-Platten) 52
5.2.5 Hackschnitzel als Bodenmaterial 53
5.3 CHEMISCHE HOLZVERWERTUNG 53
5.3.1 Holzstoff 53
5.3.2 Zellstoffherstellung 56
5.3.3 Papier-, Karton- und Pappeherstellung 57
5.3.4 Produkte aus Cellulose 58
5.3.5 Produkte aus Lignin 62
5.4 HOLZ ALS ENERGIETRÄGER 64
5.4.1 Holzvergasung 65
5.4.2 Bioethanol oder Cellulose-Ethanol 66
5.4.3 Zukunftsaussichten der Holzvergasung und des Ethanols 67
5.4.4 Holz als Brennmaterial 67

6 ANALYSE DER EINSATZVORAUSSETZUNGEN FÜR LAUBHOLZRESTE ANHAND EINER BEFRAGUNG 73

6.1 INTENTION UND STRUKTUR DER BEFRAGUNG 73
6.2 FRAGENAUSWERTUNG 73
6.2.1 Auswertung allgemeiner Betriebsangaben 73
6.2.2 Auswertung der Fragen zur Restholzthematik 77
6.2.3 Fazit Fragebogen 82

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN 84

8 ZUSAMMENFASSUNG 86

9 LITERATURVERZEICHNIS 88
10 TABELLENVERZEICHNIS 94
11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 96
12 ANHANG 98

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE

AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
atro	absolut trocken
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFH-AHB	Berner Fachhochschule-Architektur Holz und Bau
BtL	Biomass to Liquid
BWI	Bundeswaldinventur
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CN	Cellulosenitrat
CO_2	Kohlendioxid
CSL	Constructive Strand Lumber
DIBt	Deutsches Institut für Baustoffe
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FAOSTAT	Food And Agriculture Organization Of The United Nations
G	Grosssägewerk
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GKV	Grenzwerteverordnung
HB	Harte Platten
HWL-Platte	Holzwolleleichtbauplatte
kg/m³	Kilogramm je Kubikmeter
kWh	Kilowattstunde
LFI	Landesforstinventar
lutro	lufttrocken
LVL	Laminated Veneer Lumber (Furnierschichtholz)
m	Meter
MB	mittelharte Platten
MBH	Mittelharte Platten hoher Dichte
MBL	Mittelharte Platten geringer Dichte
mm	Millimeter
MDF	Mitteldichte Faserplatte
MUF	Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz

NFK	naturfaserverstärkter Kunststoff
ÖWI	Österreichische Waldinventur
PSI	Paul-Scherrer-Institut
SB	Poröse Platten
SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft
SNG	synthetischen Erdgases
UF	Harnstoff-Formaldehyd-Harz
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

1 EINLEITUNG/ZIELSTELLUNG

Mit dem Werkstoff Holz werden Eigenschaften wie Ästhetik, Funktionalität, Innovation, Wärme, angenehme Haptik, Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit, aber auch die Möglichkeit der Kaskadennutzung verbunden. Dem Wald entnommen, erstreckt sich das Anwendungsfeld je nach Holzart, Qualität und Aufschlussgrad vom Baumaterial über Verkleidungen bis hin zur chemischen Nutzung einzelner Komponenten. Die Aufrechterhaltung eines solchen Systems erfordert Einsatzbereitschaft, Rücksichtnahme und Intelligenz. Garantie für auch in Zukunft ausreichend bereitstehende Holzmengen ist eine funktionierende nachhaltige Forstwirtschaft sowie eine geschlossene Wertschöpfungskette vom Rundholz zum Endprodukt.

Eine nachhaltige Forstwirtschaft wird seit mehr als 100 Jahren in der Schweiz praktiziert. Vor allem der Vorrat an Laubholz stieg durch waldbauliche Massnahmen infolge von Stürmen, die primär Nadelholz schädigten, in den letzten Jahren an. Das geht aus Zahlen des dritten und aktuellsten Landesforstinventars (LFI) der Schweiz von 2004 bis 2006 hervor. Problem ist allerdings, dass derzeit in allen Bereichen die Verarbeitung von Nadelholz dominiert und Laubholz wenig Chancen erhält, sich zu etablieren. Beeinträchtigt wird die Situation zudem durch eine lückenhafte Verarbeitungskette, in erster Linie fehlt die Weiterverarbeitung vom Schnittholz zum Halb- oder Endfabrikat. Diese werden zum grossen Teil aus dem Ausland bezogen, gefertigt mitunter aus vorher exportiertem Rundholz. Für nicht genutzte Sortimente war die energetische Verwertung aus Sicht der Forstwirtschaft bisher die komfortabelste und finanziell lohnendste Lösung. Wichtig wird es daher zukünftig sein, geeignete Absatzmärkte für Laubholz wieder aufleben zu lassen bzw. neu zu schaffen. Eine vermehrte Nutzung von Laubholz kann sich jedoch erst einstellen, wenn sich sowohl für Hauptprodukte aus Schnittwaren als auch für die Nebenprodukte aus Holzresten gewinnbringende industrielle Prozesse abzeichnen.

Die Verarbeitung von Laubholz (aber natürlich auch Nadelholz) geht einher mit dem Anfallen von Restholz oder Holzresten. Schon im Wald wird in Abhängigkeit der Qualität in Stamm-, Industrie- und Waldenergieholz sortiert. Bei der Verarbeitung im Sägewerk entstehen je nach Einschnittart, Bearbeitungsgang und Produkt unterschiedliche Arten und Mengen von Holzresten. Diese eignen sich besonders für die Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie. Wie jedoch schon angedeutet, sind Nadelhölzer Hauptrohstoff Nummer eins. Laubholzreste werden zwar mitunter beigemengt, allerdings nur in geringen Anteilen. Der überwiegende Teil wird der energetischen Verwertung zugeführt, was als Absatzmöglichkeit nicht verkehrt ist. Allerdings bieten sich bei genauerer Betrachtung viele weitere Möglichkeiten, Laubholzreste im Sinne einer Kaskadennutzung zu verwenden.

Ziel der Recherche ist es daher, zum einen Laubholzverarbeitern einen Überblick über die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten von Laubholzresten zu verschaffen, zum anderen Vertreter der restenutzenden Industrie- und Wirtschaftsbereiche über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Laubholzanteile aufzuklären. Basis der Arbeit bildeten wissenschaftliche Publikationen, Fachliteratur, Produktbeschreibungen und Firmenaussagen. Um einen Überblick über den gegenwärtigen Zustand der Laubholzresteverwertung in der Schweiz zu bekommen, wurden laubholzverarbeitende Betriebe in einer Umfrage zu ihrem Absatzverhalten befragt.

2 ANALYSE DER SCHWEIZER LAUBHOLZSITUATION

2.1 Analyse der Waldbestandessituation der Schweiz

Seit 1983 führt die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL, Birmensdorf) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) in periodischen Abständen eine Inventur des Schweizer Waldes durch, um dessen gegenwärtigen Zustand sowie Veränderungen seit der letzten Erhebung aufzuzeigen. Nach den Landesforstinventar (LFI) 1 und 2 in den Jahren 1983/85 und 1993/95 fand 2004/06 das dritte und aktuellste LFI statt. Der endgültige Bericht erschien im Frühjahr 2010. Parallel dazu wird von der WSL schon am vierten LFI gearbeitet. Im Folgenden werden die wichtigsten Daten vorgestellt, um die Problematik des Projektes zu veranschaulichen.

Seit dem LFI 2 stieg der Gesamtvorrat (inklusive Totholz, ohne Gebüschwald) um 23 Mio.m³ (6 %) auf 427 Mio.m³ bzw. 364 m³/ha. Unter Ausschluss des Totholzes ergibt sich damit ein Vorrat von 405 Mio.m³ oder 346 m³/ha, was eine Steigerung zu LFI 2 von 2,4 % bedeutet. Dabei sind die privaten Wälder mit 418 m³/ha deutlich vorratsreicher als die öffentlichen mit 311 m³/ha. Die Aufteilung der Daten in Nadel- und Laubholz veranschaulicht die Bedeutung des Projektes. Gesamtschweizerisch betrachtet verringerte sich der Nadelholzvorrat um ca. 2,4 Mio.m³, was einer Rate von 0,9 % entspricht, wohingegen der Vorrat an Laubholz im Durchschnitt um 10 % zunahm. Dabei existieren starke Schwankungen zwischen den einzelnen Regionen. Während das Mittelland im Totalen einen Vorratsrückgang von 7,4 % aufweist, nahm er auf der Alpensüdseite um bis zu 20 % zu. Tabelle 1 gibt einen Überblick zur Vorratsveränderung zwischen LFI 2 und LFI 3 in den einzelnen Regionen. Neben der Angabe in Prozent wird mit dem Zeichen ± der Schätzfehler des Wertes angegeben. Diese resultieren aus einer Neuableitung der Lösungsverfahren und Neuberechnung der Schätzwerte des LFI 2 bzw. LFI 1.

Tab. 2-1: Vorratsänderung von LFI 2 auf LFI 3 pro Produktionsregion (Brändli 2010)

Holzart	Jura		Mittelland		Voralpen		Alpen		Alpensüdseite		Schweiz	
	%	±	%	±	%	±	%	±	%	±	%	±
Nadelholz	1,5	2,0	-16,4	2,2	-3,2	2,0	8,2	1,4	16,0	2,9	**-0,9**	0,9
Laubholz	3,7	2,3	7,6	2,1	12,0	2,7	18,7	3,9	25,1	3,8	**10,4**	1,2
Total	2,5	1,6	-7,4	1,7	0,0	1,8	9,5	1,3	20,3	2,4	2,4	0,8

Werden Nadel- und Laubholz in einzelne Arten aufgeteilt, so fällt auf, dass vor allem die Fichte starke Einbussen zu verzeichnen hat, während bei allen Laubholzarten eine Vorratssteigerung vorliegt. Dabei weist die Buche, wie aus Tabelle 2-1 ersichtlich wird, mit ca. 4,3 Mio.m³ die höchste Vorratszunahme auf. Die Tabelle stellt die Vorratsveränderungen aufgeteilt in Nadel- und Laubhölzer sowie dem Gesamtwert aus beiden in Mio. m³ und in % unter Angabe des Schätzwertes dar.

Tab. 2-2: Vorratsveränderung der Gesamtschweiz zwischen LFI 2 und LFI 3 pro Produktionsregion des gemeinsamen zugänglichen Waldes ohne Gebüschwald (Brändli 2010)

Vorrats-veränderung	Nadelhölzer						
	Fichte	**Tanne**	**Föhre**	**Lärche**	**Arve**	**übrige**	**Total**
in Mio.m³	**-7,55**	2,96	-0,55	2,13	0,20	0,42	-2,40
Schätzfehler [%]	29	31	52	17	54	28	≥ 100
in %	-4,1	5,2	-4,1	11,0	9,2	41,5	**-0,9**
Schätzfehler [%]	1,2	1,6	2,1	1,9	5,1	11,0	0,9
Vorrats-veränderung	**Laubhölzer**						
	Buche	**Ahorn**	**Esche**	**Eiche**	**Kastanie**	**übrige**	**Total**
in Mio.m³	**4,28**	2,06	2,87	0,59	0,18	1,98	11,96
Schätzfehler [%]	23	16	13	55	96	18	11
in %	6,2	21,8	24,4	7,1	3,8	18,0	**10,4**
Schätzfehler [%]	1,5	3,8	3,4	3,9	3,7	3,3	1,2
Vorrats-veränderung	**Total gesamt**						
in Mio.m³	9,55						
Schätzfehler [%]	31						
in %	2,4						
Schätzfehler [%]	0,8						

2.2 Gründe der veränderten aktuellen Situation des Bestandes

Es existieren verschiedene Ursachen für die Zusammensetzung des gegenwärtigen Waldbestands und die damit einhergehende Zunahme der Laubholzvorräte der Schweiz. Als Hauptgründe sind wahrscheinlich das veränderte Bewusstsein der Gesellschaft gegenüber der Umwelt und die zunehmenden umweltpolitischen Massnahmen zu nennen. Weg von Monokulturen und Kahlschlägen, setzt die Mehrheit der Forstleute immer häufiger auf Naturverjüngung und einem „naturnahen" Waldbau (Schärer et al. 2006). Dabei ist der Begriff des „naturnahen" Waldbaus keine moderne Neuerscheinung. Als massgebliche Befürworter und Gründer galten die zwei ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) - Professoren Walter Schädelin und sein Nachfolger Hans Leibundgut, die sich schon im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts mit einer Ausrichtung des Waldbaus nach „Kreislauf und Funktionsweise der Natur" (Kyburz 2005) beschäftigten. Sie vertraten die Meinung, in die Natur nur dann einzugreifen, wenn dies für das Erreichen bestimmter Ziele nötig ist. Das Waldgesetz von 1992 hielt dieses Prinzip schliesslich auch auf gesetzlicher Ebene fest.

Jedoch werden darin keine direkten Strategien vorgeschrieben, sondern einzelne Elemente aufgeführt, die es dem Revierförster erlauben den Wald an standörtliche und sozioökonomische Verhältnisse anzupassen. Damit bekommen die meist langsamer wachsenden Laubbäume die Chance, sich besser zu entwickeln.

Den Wald auf diese Weise nachhaltig zu pflegen, war zudem eine Reaktion der Forstleute auf die in den letzten Jahren häufiger auftretenden orkanartigen Stürme. „Vivian" (1990) und „Lothar" (1999) zerstörten ganze Waldbestände und hinterliessen Schneisen der Verwüstung. Vor allem die Fichtenvorräte wurden dadurch erheblich reduziert. Zudem kam es vor allem durch „Lothar" zu einem Borkenkäferbefall, der jedoch erst 2003 infolge eines Hitzesommers seinen Höhepunkt erreichte. Die geschwächten Bestände hatten sich noch nicht gänzlich

erholt und boten in Zusammenhang mit der Trockenheit und Hitze ideale Brutbedingungen für den Käfer. 2007 wütete „Kyrill“ über Europa, der jedoch in der Schweiz nur geringe Schäden verursachte.

Hinzu kommt, dass die in der Schweiz vorkommenden standörtlichen Bedingungen ideal für das Wachstum hoher und dicker Bäume sind (Schärer et al. 2006). Da gerade die Buche sich als robuster gegenüber Naturereignissen erweist, einfach zu pflegen und anpassungsfähig ist, ist es nicht verwunderlich, dass sie mit einem Anteil von 17 % die wichtigste Laubholzbaumart der Schweiz ist. Sykes und Prentice (1996) untersuchten zudem die Auswirkungen des Klimawandels auf die Baumverteilung in Mischwäldern in Nordeuropa. Sie fanden heraus, dass eine kohlendioxidbedingte klimatische Erwärmung einen Rückgang der Fichte- und Kiefernbestände in westlichen und südlichen Teilen zur Folge hat, während sich die Buche und andere der gemässigten Zone angepasste Baumarten zum Norden hin ausbreiten werden. Noch besser für die Entwicklung der Buche wären allerdings Reinbestände mit viel Platz zwischen den Stämmen. Die Forstpolitik der Schweiz strebt Mischbestände an. Die Buche ist dadurch ständig gezwungen nach dem Licht zu wachsen, was sich entscheidend auf die Stammbeschaffenheit und die Qualität auswirkt. Buchenstämme der Schweiz sind meist lang, schlank und spannungsreich, d.h. ungeeignet für Verwendungen im Möbelbau oder in der Furnierherstellung. Wird die Buche allerdings früh im Bestand frei gestellt, ist sie somit nicht gezwungen mit anderen Stämmen um das Licht zu konkurrieren und es entstehen zwar kürzere, aber dicke und ruhige Stämme, die hochwertiges Holz aufweisen. Dass dies möglich ist, beweisen die Länder Frankreich und Dänemark. Die hier verfolgte Forstpolitik schafft der Buche Freiräume und der Wirtschaft qualitatives Buchenholz. Natürlich hat sie und auch die restlichen Laubhölzer Nachteile wie eine schwierigere, kostenintensivere und zeitaufwendigere Verarbeitung; speziell die Buche weist eine geringe natürliche Dauerhaftigkeit auf. Ihre Einsatzgebiete beschränken sich damit in der Regel auf Nischenprodukte, Möbel, Fussböden oder die energetische Nutzung. Für die Hauptanwendungsgebiete im Bereich Bau, Holzwerkstoffe, Zellstoffe und Papier werden überwiegend Nadelhölzer, vor allem die Fichte, verwendet. Da deren Produktionen stetig zunehmen, vergrössert sich somit immer mehr die Vorratsspanne zwischen Nadel- und Laubholz. Für den Bestand der Laubhölzer wäre es daher besonders wichtig Verwendungsmöglichkeiten zu finden.

Abb. 2-1: Ausschnitt eines Schweizer Buchenwaldes im Jura (Verena Krackler)

2.3 Politische Initiativen

Auch vonseiten der Politik gibt es Bestrebungen, die sich mit der nachhaltigen und effizienten Nutzung der Ressource Holz auseinandersetzen. Ausgangspunkt der ins Leben gerufenen Forschungsinitiativen war vor allem die Verknappung herkömmlicher, nicht nachwachsender Rohstoffe mit dem Ziel, diese zu schützen. Schrittweise sollen Lösungen gefunden werden, die einen Ersatz in deren Einsatzgebieten ermöglichen. Holz ist für dieses Vorhaben einer der idealen Rohstoffe, da er zum einen nachwächst und zum anderen die Fähigkeit besitzt, vor allem als Substitutionsmaterial für bisherige petrochemisch-basierte Produkte zu dienen. Da jedoch in einigen Bereichen der Nadelholzverbrauch stetig steigt und es in naher Zukunft zu Engpässen kommen kann, wird unter anderem auch spezifisch auf die Laubholzverwertung eingegangen. Im Zuge der Recherche werden drei der wichtigsten Programme kurz vorgestellt. Diese sind zum Teil miteinander verbunden und nutzen erworbene Kenntnisse und Resultate.

„Die Innovations-Roadmap“ wurde 2005 vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Dachorganisation der Holzwirtschaft „Lignum“ und dem Netzwerkholz ins Leben gerufen. Sie beschäftigt sich hauptsächlich mit der Optimierung der Wertschöpfung des Holzes mit folgenden Zielsetzungen (Näher 2007):

- Erhöhte Markt- und Kundenorientierung
- Gestärkte Innovationsfähigkeit und gestärkter Wissens- und Technologietransfer
- Verbesserte Konkurrenz- und Exportfähigkeit
- Verbesserte politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen
- Gegenseitiges Abstimmen der Stoffströme und Tätigkeitsfelder
- Optimierte Produktion, Verarbeitung und Vermarktung von Holz

Die „Innovations-Roadmap“ schloss sich 2006 mit der zweiten Initiative **„Wood Fiber 2020“** zusammen, die sich mit der Verwendung und Verarbeitung von Holzfasern auseinander setzt. Dabei wurden die drei ursprünglichen Forschungsfelder der „Innovations-Roadmap“ auf folgende sechs Module erweitert und umgruppiert (Anonymus 2007a):

1. Rohholz – Verfügbarkeit, Beschaffungspolitik und –prozesse
2. Lebenszyklus-Management holzbasierter Stoffflüsse
3. Holz als Material für verwertbare chemische Substanzen
4. Holz als Energieträger
5. Holz als Material für Komponenten
6. Holz als Material für Tragwerke und Gebäude

Die Module veranschaulichen die Intention der beiden Initiativen. Der Rohstoff Holz soll durch geeignete Projekte „von der mikroskopischen (Fasern und Fibrillen) bis zur makroskopischen (grosse Strukturen) Grössenskala umfassend erforscht“ (Anonymus 2007a) werden, um anschliessend die Resultate unter Einbezug kleiner und mittelgrosser Betriebe in die Praxis umzusetzen. Damit dies gelingt sind vor allem auch Fachhochschulen (Berner Fachhochschule, Fachhochschule Zentralschweiz und Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaft), Institute (Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Nationales Kompetenznetzwerk „Netzwerkholz“), die Universität Zürich sowie einige Bereiche der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) daran beteiligt.

Im Mittelpunkt des dritten Handlungsprogrammes **„Ressourcenpolitik Holz“** steht weniger die Erforschung des Holzes in seinen unterschiedlichen Erscheinungsformen, als vielmehr die Optimierung der Wertschöpfungskette vom Fällen bis hin zum Wiederverwerten bzw.

Entsorgen, um eine nachhaltige und effiziente Nutzung zu ermöglichen. Hauptinitiator ist das BAFU, für die Umsetzung werden jedoch verschiedene Akteure aus Politik, Wirtschaft und Bildung (Bundesamt für Energie (BFE), Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO), Kantone, Wald- und Holzwirtschaft, die Holzenergie, relevante Hochschulen und Umweltverbände) einbezogen. Die „Ressourcenpolitik Holz“ definiert sechs Ziele, von denen drei quantitative Aussagen über die genutzte Holzmenge, den Pro-Kopf-Verbrauch an Schnittholz und Holzwerkstoffen mit Angaben zum Holzbau und die genutzte Waldenergiemenge einschliesslich der Wiederverwertung von Altholzmengen machen. Die restliche drei befassen sich mit Produkt- und Verfahrensinnovationen, der Zusammenarbeit und Abstimmung der verschiedenen Anspruchsgruppen sowie der kaskadenartigen und mehrfachen Nutzung des Holzes. Der letztgenannte Punkt beabsichtigt die Verwendung des Holzes entsprechend seiner Wertschöpfung und Mehrfachanwendung, indem **die stoffliche Verwertung der energetischen vorzuziehen ist**. Die Umsetzung der Initiative erfolgt über den dazugehörigen „Aktionsplan Holz“ mit folgenden Massnahmenschwerpunkten (Krafft 2008):

- Datengrundlagen zu Holzaufkommen, Holzpotentiale und Kaskadennutzung
- Information und Sensibilisierung der Waldbesitzer
- Information und Sensibilisierung der Bevölkerung
- Laubholzverwertung (Forschung und Entwicklung, Innovationsförderung, Wissenstransfer)
- Weiterentwicklung energieeffizienter und schwerpunktmässig grossvolumiger Holzbausysteme, Bauen im Bestand
- Sensibilisierung der institutionellen Endverbraucher
- Gestaltung der Rahmenbedingungen, Abstimmung mit Partnern

Indem die „Ressourcenpolitik Holz“ der Laubholzverwertung einen eigenen Massnahmenpunkt zuordnet, weist sie bewusst auf die gegenwärtige Problematik des Themas hin, sowie auf die Notwendigkeit, Lösungen zu finden.

Ein gutes Beispiel für die Leitgedanken des Ressourcenplanes ist **„Woodstock“**. Dabei handelt es sich um ein Plusenergiehaus im Minergie-P-Standard – ein Projekt der I-Catcher GmbH in Zusammenarbeit mit Firmen aus den Bereichen Planung, Architektur, Energie, Holzverarbeitung und Gebäudetechnik und mit Unterstützung der BAFU. Das faszinierende an diesem Haus ist, dass sämtliche Wand- und Deckenelemente, inkl. der äusseren tragenden Struktur, aus Buche geschaffen werden. Optimiert wird das Ganze durch die Kombination mit weiteren intelligenten Materialien, die schlussendlich ein effizientes Ganzes ergeben. Der Bau des Gebäudes begann im November 2009 und wurde im Zuge der Swissbau (Fachmesse der Bau- und Immobilienwirtschaft) im Januar 2010 das erste Mal präsentiert.

2.4 Struktur der Schweizer Säge-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie

2.4.1 Grösse und Kapazitäten von Laubholzsägewerken

Die meisten Sägewerke der Schweiz sind spezialisiert auf Nadelhölzer. Der Einschnitt von Laubholz ist verbunden mit einer aufwendigeren Sortierung und langsameren Verarbeitung, was zur Folge hat, dass die Produkte teurer sind als gleichwertige aus Nadelholz. Der Bedarf kann jedoch bald nicht mehr alleine durch Nadelholz gedeckt werden, da auch steigende Erdöl- und Rohstoffpreise sowie Forderungen nach einer nachhaltigen Entwicklung, die Nachfrage ankurbeln.

In der Schweiz existieren bislang nur wenige Laubholz verarbeitende Sägewerke, wobei die Unternehmensgruppe Corbat Holding SA in Vendlincourt an der französischen Grenze das grösste mit einem ungefähren Laubholzeinschnitt von 20.000 fm pro Jahr unterhält. Die Hälfte des Einschnittes besteht aus Buche, ein Drittel sind Eiche, den Rest bilden hauptsächlich Esche, Ahorn, Kirsch- und Nussbaum. Das Unternehmen kauft sein Holz in einem Umkreis von 50 km. Aufgrund der grenznahen Lage wird das Holz sowohl aus der Schweiz als auch aus Frankreich bezogen, wobei vor allem die Qualität entscheidet. Geringwertige Buche, geeignet z.B. für Schwellen, stammt meist aus der Schweiz. Sogenannte mildes Buchenholz, d.h gleichmässig, ruhig gewachsene Stämme ohne Spannungen, ist aufgrund der unterschiedlichen Forstpolitik nur in Frankreich zu finden. Auch das Eichenholz bezieht die Corbat Holding SA grösstenteils aus dem Nachbarland. Das Unternehmen schneidet auch rotkernige Buche ein. Nach Aussage von Corbat (2010) geht dieses Holz vor allem an Halbfabrikat- und Möbelhersteller. Übrig gebliebene Schwarten werden gebündelt und an Holzwerkstoff- oder Zellstoffhersteller verkauft. Hackschnitzel werden vor allem zur eigenen Energieversorgung genutzt, aber auch an Holzheizkraftwerke verschickt. Ein zweites Standbein schuf sich die Sägerei mit einer Pellettanlage, eine Möglichkeit der Energiegewinnung vor allem für Privathaushalte. Ein weiteres nennenswertes Sägewerk ist die Hanhartholz AG mit Sitz in Diessenhofen an der Grenze zu Deutschland, die Laubhölzer in sämtlichen Dimensionen einschneidet. Zudem können noch die Koller Sägerei AG, die Ruedersäge AG, die Konrad Keller AG, die Richard Lötscher AG, die Krähenbühl Holz GmbH, die A. Bachmann`s Söhne AG sowie die Hess & CO. AG genannt werden. Einige weitere Sägereien verarbeiten Laubholz nur in Kleinstmengen oder auf Anfrage.

Mit „AvantiBOIS“ soll allerdings in naher Zukunft ein Laubholzverarbeitungszentrum für die Wälder der Kantone Waadt, Freiburg, Neuenburg und Bern geschaffen werden. Das Ziel des von Vertretern der Politik, des Waldes, der Wirtschaft und der Verwaltung der Kantone gegründeten Projektes ist nach der Erschliessung der Basisinfrastruktur mit 15 – 20 ha Land die Ansiedelung von Unternehmen im Holzcluster. Die genaue Standortwahl ist noch nicht geklärt, in Frage kommen Grandson und Moudon. Beide bieten durch ihren Laubholzvorrat und die günstige Strassen- und Schienenanbindung ideale Voraussetzungen.

Dass es möglich ist, mit Laubholz bei entsprechender Sortierung und Einschnitt erfolgreich in grossen Massstab zu arbeiten, zeigt die Firma Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG mit Hauptsitz in Creuzberg/Deutschland. Das Unternehmen verarbeitet jährlich ca. 500.000 m³ Buche zu hochwertigen Sortimenten, täglich werden mindestens 800 m³ Schnittholz produziert. Neben dem Maschinenpark, verfügt das Unternehmen auch über 100 Trocknungs- und Dämpfanlagen.

2.4.2 Verarbeitungs- und Kapazitätsmengen der Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie

Die Verarbeitungsmengen an Laubholz sind regional abhängig und werden u.a. bestimmt von der Verfügbarkeit, den Stammqualitäten und der Konkurrenz im Ausland.

***Zellstoffindustrie*:** In der Schweiz speziell ist die Herstellung von Zellstoff durch die Schliessung der Borregaard Schweiz AG zusammengebrochen. Die 2002 gegründete Firma entstand durch die Übernahme der ehemaligen Cellulosefabrik Attisholz AG durch Borregaard. Das Werk musste im September 2008 schliessen, da sich die Produktion wegen deutlich gestiegener Energiepreise, aufwändiger Abwasserreinigung und starker Preis-und Absatzeinbrüche nicht mehr rentierte. Besonders die Waldwirtschaft bedauerte diesen Schritt, da doch die Borregaard Schweiz AG einer der bedeutendsten Abnehmer für Industrieholz war. Der jährliche Nadelholzanteil betrug ca. 600.000 m³, Laubholz wurde immerhin in

Mengen um die 100.000 m³ verarbeitet. Die Herstellung von Buchenzellstoff wurde allerdings schon vor der Schliessung eingestellt, da die Konkurrenz des günstigeren Eukalyptuszellstoffes zu stark war. Deutlich sichtbar wird die Einstellung bei Betrachtung der Produktionszahlen. Wurden 2007 noch 109.000 t Zellstoff erzeugt, waren es 2008 nur noch 72.000 t. Die Schweiz ist damit gezwungen, mehr zu importieren, um den eigenen Bedarf von durchschnittlich 530.000 t zu decken. Kapazitäten heutiger Werke liegen mitunter, wie z.B. in Südamerika, bei 1.000.000 t/Jahr. Die grössten Werke in Europa sind die Zellstoff Stendal Holz GmbH (Kapazität: 620.000 t/Jahr), Stora Enso und Södra in Skandinavien. Södra geben auf ihrer Internetseite sogar eine Produktionsmenge von 2.000.000 t Zellstoff pro Jahr verteilt über fünf Standorte an.

Holzwerkstoffindustrie: Die Holzwerkstoffindustrie ist nach wie vor der grösste Abnehmer und Verarbeiter von Holz und damit auch Laubholz. Mit einem Produktionsvolumen von 40,1 Mio.m³ im Jahre 2008 ist die Spanplatte mit 61 % dominierend unter den Holzwerkstoffen in Europa. Auch in der Schweiz führte sie die Produktion mit 540.000 m³ im Jahre 2007. Derzeit werden Laubhölzer den Spanplatten beigemengt. Die Buche ist auch hier die meist verwendete Holzart. Die Kronospan Schweiz AG, einer der wichtigsten Holzwerkstoffhersteller der Schweiz, verarbeitet jährlich ca. 850.000 m³ Holz, davon immerhin 40 % Laubholz bei einem ungefähren monatlichen Verbrauch von 5.000 – 20.000 m³, meist Buche (Howald 2009a, 2009b). Der durchschnittliche Anteil an Laubholz des österreichischen Holzwerkstoffherstellers Fritz Egger GmbH & Co. lag 2008/2009 mit 8 % deutlich darunter. Das liegt aber auch daran, dass nach Angaben des Unternehmens viel Laubholz aus der Schweiz bzw. Süddeutschland importiert werden musste (Karbun 2009).

In Faserwerkstoffen dagegen wird derzeit in der Schweiz beinah kein Laubholz eingesetzt, obwohl wissenschaftliche Beiträge eine Eignung bestätigen. Gerade hier wäre jedoch ein hohes Potential möglich, denn mit 534.000 m³ wiesen Faserplatten im Jahre 2007 in der Schweiz nach den Spanplatten die zweithöchste Produktionsmenge unter den Holzwerkstoffen auf. Grösster Anbieter ist die Pavatex SA, die, ausgehend von einer mittleren Rohdichte von 200 kg/m³, jährlich ungefähr 300.000 m³ Faserplatten produzieren.

Die Span- und Faserwerkstofftechnologie wird in Europa, aber auch weltweit vor allem von einigen grossen Unternehmen geprägt, die zunehmend den Markt beherrschen. Kleinere Unternehmen können dem Druck oft nicht standhalten, ihnen bleibt oft nur die Übernahme durch ein grosses Werk. Die folgenden zwei Darstellungen stellen die europa- und weltweit wichtigsten Firmen mit ihren jeweiligen Produktionskapazitäten vor.

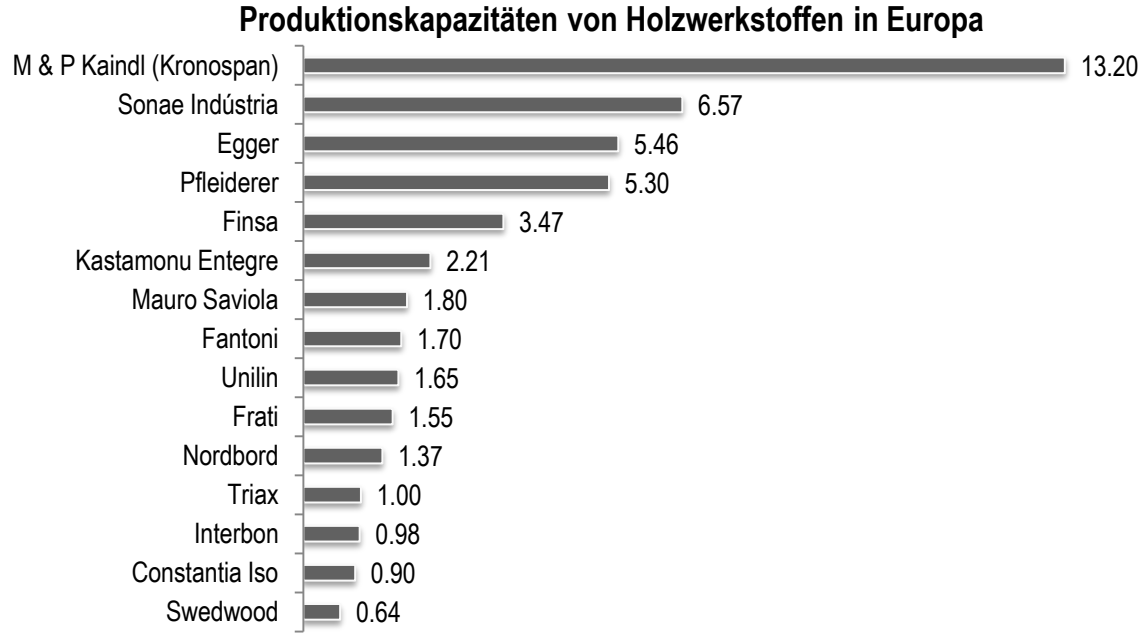


Abb. 2-2: Produktionskapazitäten der grössten europäischen Holzwerkstoffhersteller (Sonae Indústria)

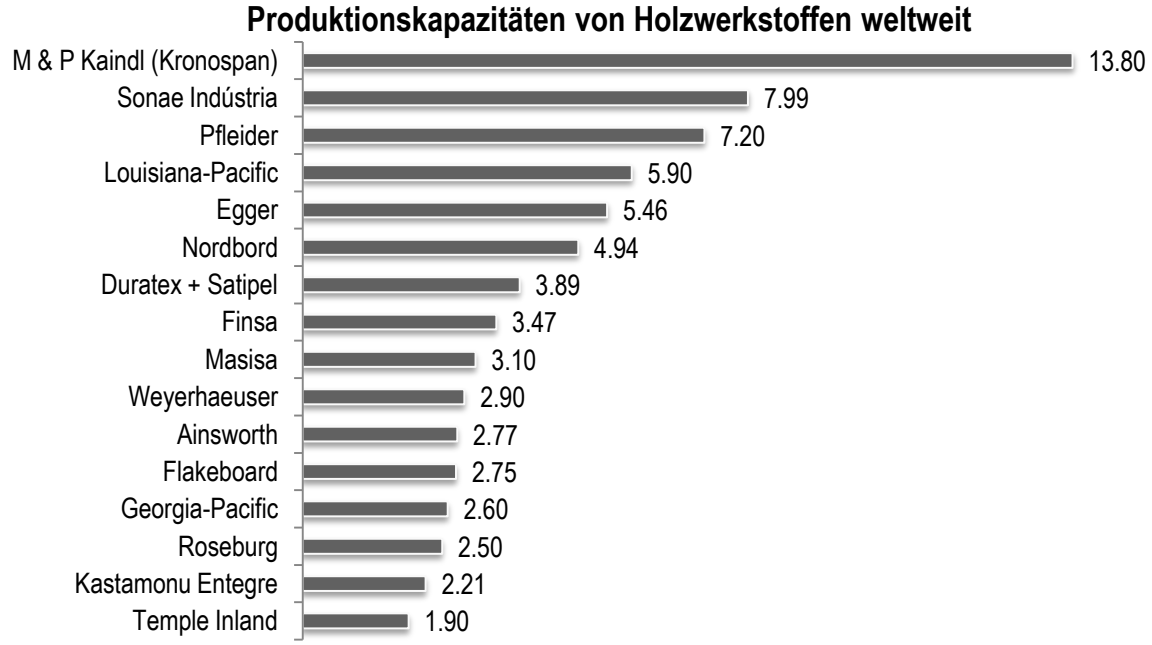


Abb. 2-3: Produktionskapazitäten der grössten weltweiten Holzwerkstoffhersteller (Sonae Indústria)

3 CHARAKTERISIERUNG DES LAUBHOLZES

3.1 Nutzbarer Stammholzanteil von Laubholz

Neben der Anatomie unterscheiden sich Laubhölzer auch im eigentlichen Aufbau des Baumes von den Nadelhölzern. Durch ein zumeist umfangreicheres Astwerk und Blätterdach weisen Laubbäume lediglich einen nutzbaren Stammholzanteil von 40-50 %, Nadelbäume dagegen von 80 % auf (Thees 2009). Somit kann dies als einer der Gründe genannt werden warum Laubhölzer als unprofitabler gelten.

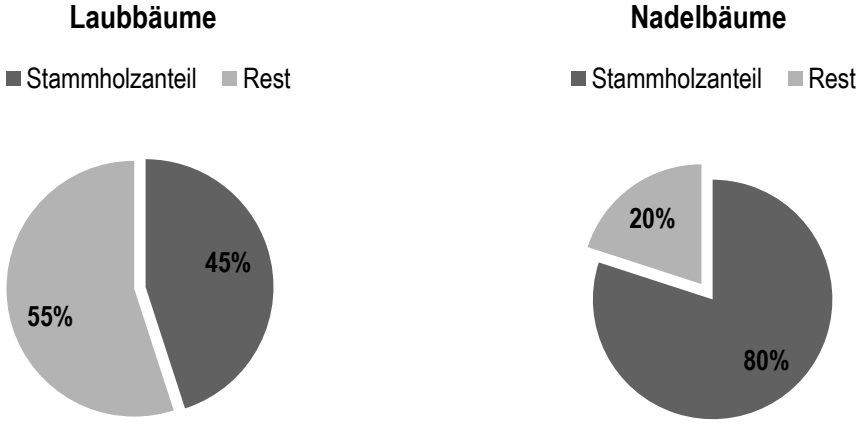


Abb. 3-1: Nutzbarer Stammholzanteil von Laub- und Nadelbäumen (Thees 2009)

3.2 Anatomischer Aufbau des Laubholzes

Holz ist ein Material, was überwiegend aus Biopolymeren besteht. Die drei Hauptbestandteile sind Cellulose, Lignin und Hemicellulose, die durch Aneinanderreihung der Moleküle die Zellen und somit das Gerüst des Holzes bilden. Die Cellulose übernimmt dabei die Funktion der Gerüstsubstanz. Im Einzelnen besteht sie aus Glucoseeinheiten, die untereinander in Längsrichtung des Stammes über glykosidische Bindungen[1] verbunden sind, was die gute Zugfestigkeit des Holzes erklärt. Das Lignin mit seinem dreidimensionalen und amorphen Gefüge umschliesst die Kohlenhydrate, dient als Kittsubstanz und ermöglicht, dass das Holz bis zu einem gewissen Grad auf Druck beansprucht werden kann. Die Hemicellulosen sind aus unterschiedlichen Monosacchariden aufgebaut, die ebenso die Holzfasern verkitten und zur Plastizität des Holzes beitragen. Die Zellen des Holzes sind meist „hohl“ (Huckfeldt und Schmidt 2006) und bilden ein Röhrensystem, um die Wasser- und Nährstoffversorgung des Baumes zu sichern.

Grundsätzlich werden die drei Hauptfunktionen des Baumes Wasserleitung, Stoffspeicherung und Festigung durch die drei Hauptgewebearten Leitgewebe, Speichergewebe und Festigungsgewebe bewerkstelligt. Nebengewebearten wie das Sondergewebe bei Reaktionsholz oder Exkretgewebe für Harzkanäle kommen nicht immer vor. In den drei Hauptschnittrichtungen des Holzes Quer-, Tangential- und Radialschnitt sind der Aufbau, die Anordnung, Grösse und Form des Gewebes gut sichtbar. Besonders im Querschnitt lässt sich ein aussagekräftiges Bild über die Anatomie des Holzes geben. Von aussen nach innen

[1] glykosidische Bindung: Verknüpfung des C-1 Atoms eines Glucosemoleküls mit dem C-4 Atom eines benachbarten Glucosemoleküls über ein Sauerstoffatom

besteht der Baum aus der Rinde, dem Bast, Kambium, Splintholz, Kernholz und der Markröhre. Splint- und Kernholz setzen sich aus Jahrringen, sogenannte Zuwachsschichten des Baumes aus Früh- und Spätholz, zusammen. Die zu Beginn der Vegetationsperiode gebildeten Zellen des Frühholzes sind weitlumig und dünnwandig und dienen der Wasserleitung. Gegen Ende der Vegetationsperiode wird das Spätholz aus englumigen und dickwandigen Zellen erzeugt, dessen Aufgabe die Festigung des Baumes ist. Laubhölzer unterscheiden sich von den entwicklungsgeschichtlich älteren Nadelhölzern. Ihr Aufbau ist differenzierter, da die einzelnen Funktionen und Aufgaben auf mehr Zelltypen aufgeteilt werden. Das hat zur Folge, das Parameter, Maschinen und Verfahren der Be- und Verarbeitung unter Umständen angepasst werden müssen. In Tabelle 3-1 werden die wichtigsten anatomischen Unterschiede zwischen Nadel- und Laubhölzern zusammengefasst.

Tab. 3-1: Zelltypen von Nadel- und Laubhölzern (Wagenführ und Scholz 2008)

<table>
<tr><th colspan="2">Nadelholz</th><th rowspan="2">Zelltyp</th><th colspan="2">Laubholz</th></tr>
<tr><th>Funktion</th><th></th><th></th><th>Funktion</th></tr>
<tr><td>Wasserleitung</td><td>Frühholz-</td><td rowspan="3">Tracheiden</td><td>Gefäss- und vasizentrische …</td><td>Wasserleitung</td></tr>
<tr><td>Festigung</td><td>Spätholz-</td><td rowspan="2">Faser-</td><td rowspan="2">Festigung</td></tr>
<tr><td>Wasserleitung</td><td>Holzstrahl-</td></tr>
<tr><td>Speicherung</td><td colspan="3">Holzstrahlparenchym</td><td>Speicherung</td></tr>
<tr><td>Speicherung</td><td colspan="3">Längsparenchym</td><td>Speicherung</td></tr>
<tr><td>Harzauscheidung</td><td colspan="2">Epithelzellen der Harzkanäle</td><td>/</td><td>/</td></tr>
<tr><td>/</td><td>/</td><td colspan="2">Gefässe/ Tracheen/ Poren</td><td>Wasserleitung</td></tr>
<tr><td>/</td><td>/</td><td colspan="2">Libriformfasern</td><td>Festigung</td></tr>
</table>

3.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften von Laubholz

Folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den Eigenschaften hinsichtlich Mechanik, Dimensions- und Formstabilität, Dauerhaftigkeit, Bearbeitbarkeit und Beleimung von Fichte, Tanne, Buche, Eiche und Esche, den wichtigsten Schweizer Nadel-und Laubholzarten.

Tab. 3-2: Eigenschaften von Fichte, Weisstanne, Buche, Eiche und Esche (Sell und Holz 1997; Bernasconi 2004)

Eigenschaft	Holzart				
	Fichte	Weisstanne	Buche	Eiche	Esche
Rohdichte ρ lufttrocken [kg/m³]	430…470	430…480	700…790	650…760	680…760
Druckfestigkeit $_{dBII}$ [N/mm²]	40…50	40…52	52…64	52…64	43…59
Zugfestigkeit $_{zBII}$ [N/mm²]	80…90	80…93	100…135	88…110	130…160
Biegefestigkeit σ_{bBII} [N/mm²]	65…77	62…74	90…125	86…108	100…127
Scherfestigkeit τ_{BII} [N/mm²]	5,0…7,5	4,9…7,5	7,7…10,0	9,3…11,5	12,0…13,4
E-Modul aus Biegeversuch E_{II} [N/mm²]	10.000… 12.000	10.000… 14.500	12.300… 16.400	10.500… 14.500	11.900… 13.900
Volumetrische Wärmekapazität s* [kJ/m³K]	731…799	731…816	1.190…1.343	1.105…1.292	1.156…1.292
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	0,10…0,12	0,11…0,13	0,16	0,13…0,20	0,15…0,17
Dimensions- und Formstabilität	gut	gut	gering	mittel	mittel
Natürliche Dauerhaftigkeit	wenig	wenig	nicht	dauerhaft	nicht
Bearbeitbarkeit	sehr gut	sehr gut	leicht	gut	gut
Trocknung	sehr gut	sehr gut	langsam, da neigt zum Werfen u. Reissen, aber technisch sehr gut	befriedigend, nur mit grossem Aufwand technisch möglich	befriedigend, neigt zum Werfen und Reissen
Verleimung	problemlos	problemlos	nach Trocknung problemlos	befriedigend aufgrund Gerbsäure und schwieriger Trocknung	problemlos

* errechnet aus dem Produkt der spezifischen Wärmekapazität c von Holz (1,7 kJ/kgK bei 15 % Holzfeuchte) und angegebener Rohdichte ρ [kg/m³] aus Tabelle

Anhand der Auflistung ist erkennbar, dass die drei Laubhölzer bezüglich der mechanischen Eigenschaften klar im Vorteil sind. Herausragend ist die volumetrische Wärmekapazität aufgrund der höheren Rohdichte. Die schlechtere Dimensions- und Formstabilität, die kompliziertere und damit aufwendigere Trocknung sowie die z.T. schwierigere Verklebung erschwert vor allem den Einschnitt, werden jedoch mit steigendem Zerkleinerungsgrad zunehmend aufgehoben.

4 ANALYSE DER STRUKTUR UND DES AUFKOMMENS VON LAUBHOLZRESTEN

4.1 Holzvorrat und Holzsortimente nach der Holzernte

Im Zentrum der Recherche sollen die vorratsmässig wichtigsten Laubholzarten der Schweiz stehen. Wie aus Tabelle 4-1 ersichtlich wird, verzeichnet die Buche die grössten Vorräte, gefolgt von Esche, Ahorn, Eiche und Kastanie.

Tab. 4-1: Holzvorrat von Buche, Esche, Ahorn, Eiche und Kastanie pro Produktionsregion im LFI 3 (nach Schweizerisches Landesforstinventar, WSL)

Vorrat pro Produktions-region	Laubhölzer						
	Buche	Esche	Ahorn	Eiche	Kastanie	übrige	Total
in Mio.m³	**73,35**	**14,79**	**11,82**	**9,10**	**4,92**	13,48	127,45
Schätzfehler [%]	3	5	4	7	9	4	2

In Abhängigkeit von der Qualität des Holzes, erfolgt nach der Holzernte die Einteilung in folgende drei Sortimente:

- Stammholz: Rundholz, welches für die Verarbeitung in der Sägerei oder in Furnierwerken vorgesehen ist, auch Sägerundholz genannt
- Industrieholz: Holz für die Verarbeitung in der Papier- und Holzwerkstoffindustrie in Form von Rundholz, Schwarten, Spreissel, Hackschnitzel und Sägespäne, da es nicht geeignet ist für die Verarbeitung in Sägereien
- Waldenergieholz: (Brennholz) Holz für die energetische Nutzung aus dem Wald in Form von Reisig, Zapfen, Hackschnitzel, Späne, Sägemehl und Rinde

Im Jahre 2008 wurden insgesamt 5,26 Mio.m³ Holz geerntet, was im Vergleich zu 2007 ein Minus von ca. 43.000 m³ bedeutet. Nadelholz nimmt dabei mit 3,73 Mio.m³ einen Teil von 70,8 % und Laubholz mit 1,54 Mio.m³ einen Teil von 29,2 % ein. Die drei Sortimente Stammholz, Industrieholz und Waldenergieholz verteilen sich bezogen auf die geerntete Gesamtmenge folgendermassen:

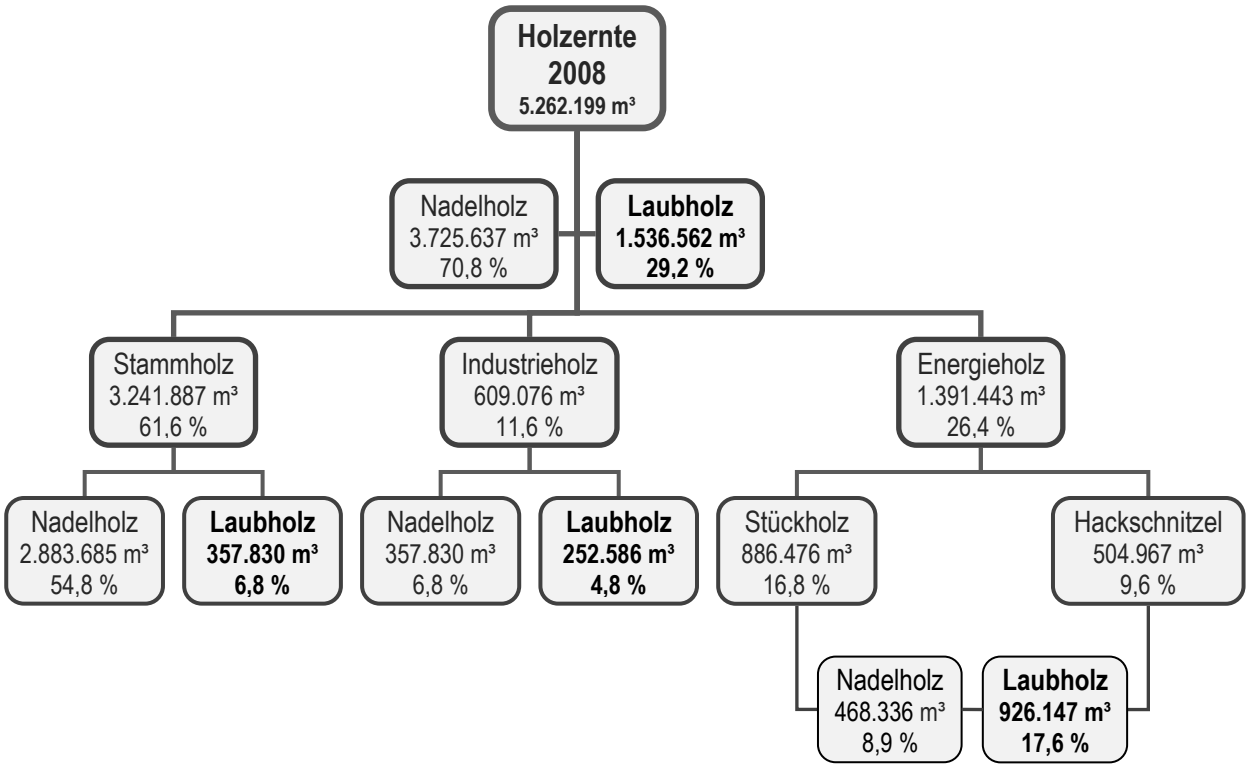


Abb. 4-1: Aufteilung der Holzernte 2008 in Sortimente und Holzart (nach Schweizerischer Forststatistik, Bundesamt für Statistik)

Die Grafik verdeutlicht, dass der Einschlag von Laubholz gemessen an der Gesamternte nur einen geringen Teil ausmacht. Allein in der Kategorie Energieholz überragt Laubholz das Nadelholz. Mit 17,6 % stellt diese zudem die grösste Nutzungsart in den drei Sortimenten dar. Werden Laub- und Nadelholz getrennt betrachtet, so bedeutet dies, dass ca. 60 % des insgesamt geernteten Laubholzes sofort und nur energetisch genutzt werden, ohne das Holz einer vorherigen Verwendung zuzuführen. Bei Nadelholz sind es lediglich ca. 12,5 %. Ziel sollte es jedoch zum einen sein, mehr Laubholz zu ernten und zum anderen, Laubholz intensiver als Stamm- und Industrieholz zu verwerten. Die Nutzung als Energieholz kann zwar beibehalten werden, allerdings sollte dies die letzte Verwendungsmöglichkeit der Kette darstellen.

4.2 Sortimente des Abfallholzes

Abfallholz kann in drei Kategorien eingeordnet werden. Die erste bildet das im Sägewerk anfallende Restholz, welches durch den Einschnitt von Stammholz entsteht und als Rohstoff in der Papier-, Zellstoff- und Plattenindustrie sowie als Energieholz dient. Da es sich hierbei um Reste handelt, die aus den unterschiedlichen Bearbeitungsvorgängen resultieren, werden diese meist als Holzreste bezeichnet.

Die zwei weiteren Kategorien beinhalten das auf dem Rundholzplatz entstehende oder aussortierte Industrieholz und Waldenergieholz, welches nicht für eine Verarbeitung zu Schnittholz geeignet ist. Industriestammholz wird wie Restholz in der Papier- und Zellstoffindustrie verwertet.

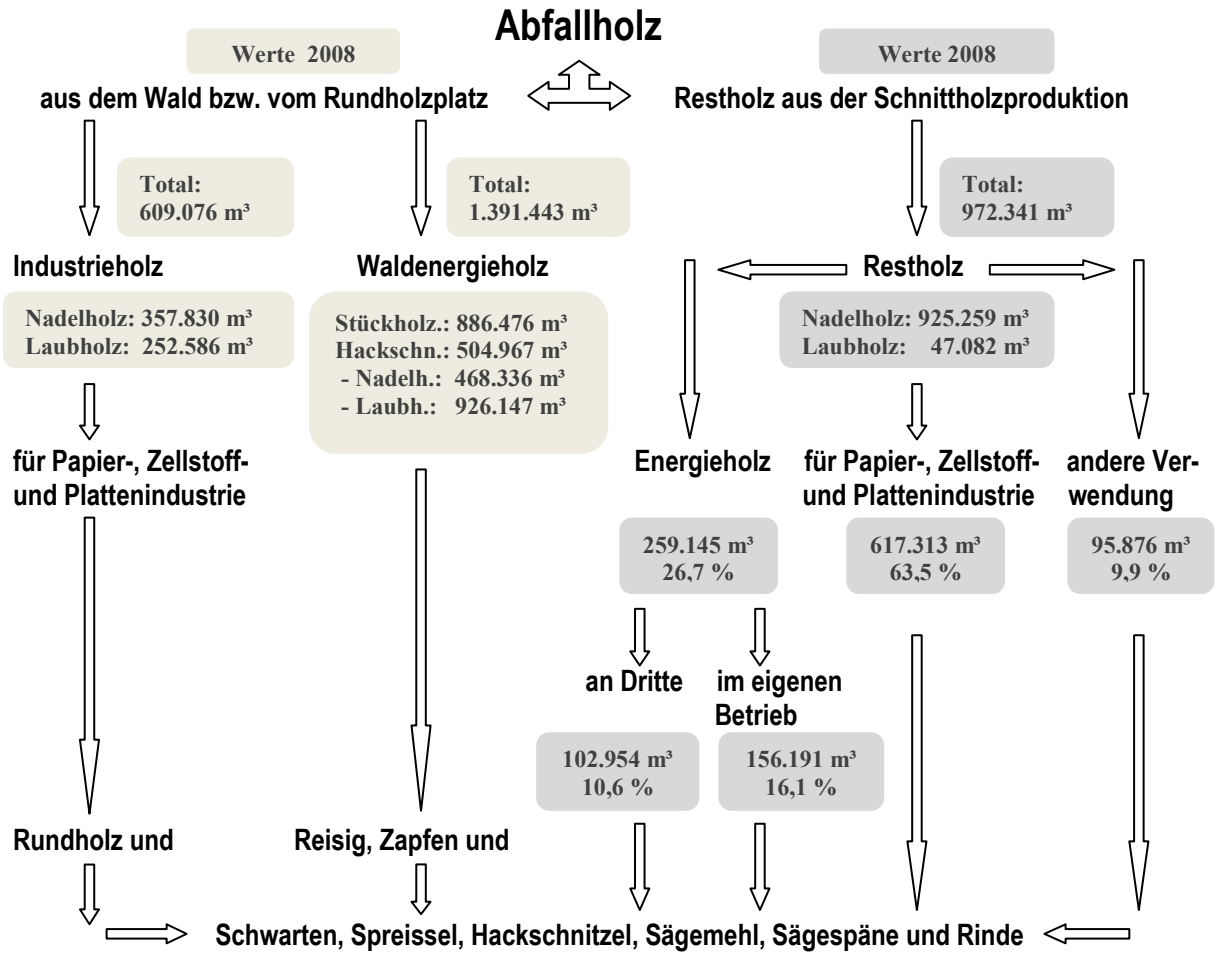


Abb. 4-2: Sortimente des Abfallholzes (Werte von 2008 nach Schweizerischer Forststatistik, Bundesamt für Statistik)

Durch Addieren der Totalwerte ergab sich im Zeitraum 2008 in der Schweiz eine Gesamtsumme an Abfallholz von 2,97 Mio.m³. Gemessen an der gesamten Holzernte mit 5,26 Mio.m³ wird deutlich, dass 56,5 % dieser Holzernte in Form von Schwarten, Sägespänen oder ähnlichem verwertet wurde. Dabei ergibt sich ein Nadelholzanteil von 1,75 Mio.m³ und ein Abfallholzwert des Laubholzes von 1,23 Mio.m³. Ausgehend von den ungleichen Holzerntezahlen von Nadelholz und Laubholz (ca. 3,73 zu 1,54 Mio.m³) wird deutlich wie verschwenderisch mit dem Rohstoff Laubholz umgegangen wird. Auch Laubholzreste können neben der energetischen Verwertung anderen Einsatzgebieten zugeführt werden, die im Sinne einer Kaskadennutzung sind. Der derzeitige Umgang mit der wertvollen Ressource gleicht eher den von Entwicklungsländern, die Holz ebenfalls überwiegend zur Verbrennung einsetzen, allerdings mit dem Unterschied, dass sie, um leben zu können, darauf angewiesen sind.

4.3 Schnitt- und Restholzsortimente aus dem Sägewerk

Bedingt durch anatomische Unterschiede, einem niedrigeren Stammholzanteil und häufig krummeren Stammfomen ist der Einschnitt von Laubhölzern je nach Ausprägung der genannten Eigenschaften schwieriger als der von Nadelhölzern. Schnittholzausbeuten und Holzrestmengen variieren stärker in Abhängigkeit vom Schnittprogramm, der Einschnittart, Schnittfugengrösse sowie Schnitttechnologie (Gatter-, Band- oder Kreissäge). Einen

zusammenfassenden Überblick über die Stammholz-, Schnittholz- und Restholzanteile sowie einzelne Schnittholz- und Restholzprodukte gibt die nachstehende Illustration. Im folgenden Abschnitt wird nochmals detailliert auf die anfallenden Restholzmengen infolge des Einschnittes eingegangen.

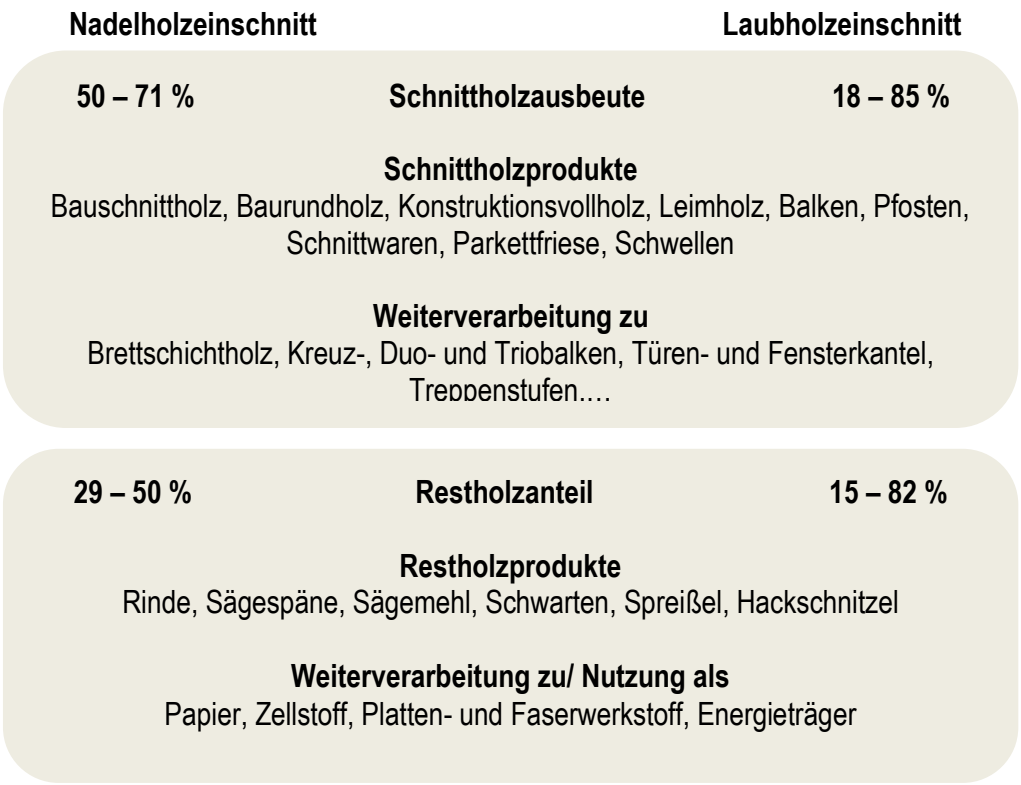


Abb. 4-3: Überblick über die Schnitt- und Restholzsortimente von Nadel- und Laubholz (Autorenkollektiv 1975; Thees 2009). Werte für das Laubholz anhand der unter Kapitel 6 durchgeführten Umfrage

4.4 Restholzmengen durch Bearbeitungsläufe in der Sägeindustrie

Mit dem stetigen Wachstum der Holzwerkstoff-, Papier- und Zellstoffindustrie erhöht sich auch die Bedeutsamkeit einer sinnvollen und wirtschaftlichen Verwendung und Verteilung der anfallenden Holzreste. Wichtig dafür ist eine Mengenerfassung der Sägewerke, um zum einen Versorgungsengpässe zu vermeiden und zum anderen nicht ausgeschöpfte Potentiale aufzudecken. Nadelholzreste haben ihren Platz in der be- und verarbeitenden Industrie eingenommen, Laubholzreste dagegen werden ähnlich Zeitarbeitern nach Bedarf ein- und wieder abgesetzt, da sie für eine kurzzeitige Aufrechterhaltung des Betriebes zwar wichtig sind, aber nicht für eine dauerhafte und gewinnbringende Produktion. Zudem beschränken sich ihre Einsatzgebiete meist auf untergeordnete und sekundäre Abläufe oder Produkte. Kurz: Man ist noch auf der Suche nach einem festen Einsatzgebiet für Laubholzreste, das Abweichungen zulässt, Alternativen beinhaltet und sich der Marktsituation anpassen kann.

Um eine Mehrnutzung von Laubholzresten zu erreichen oder auch Neuanwendungen einzuführen, ist die mengenmässige Erfassung erforderlich. Diese Daten können statistisch oder basierend auf Berechnungsgrundlagen ermittelt werden. Vorreiter (1943) gibt dazu in seinem Buch „Handbuch für Holzabfallwirtschaft“ Gleichungen an, mit denen u.a. die Gesamtabfallmenge, die Abfallanteile der verschiedenen Bearbeitungsbereiche oder das Gewicht bestimmt werden können. Wichtig für ihn war zudem die Trennung der „Holzabfälle

nach den Arbeitsgängen oder Gewerbearten“, da sie sich in Grösse, Menge, Beschaffenheit Zusammensetzung und auch Qualität unterscheiden.

Tabelle 4-2 zeigt beispielhaft die Menge der anfallenden Restprodukte bzw. Sägenebenprodukte beim Einschnitt von einem Festmeter Rundholz:

Tab. 4-2: Verteilung der Restprodukte durch Bearbeitungsverfahren (Fronius 1991)

Rest-bzw. Sägenebenprodukt	Entstehungsstelle	Abfall/ Menge (%)
Rinde	an allen Primärmaschinen, wenn Einschnitt in Rinde	fallweise bis 10
Sägespäne	an allen Sägemaschinen	8…19, Mittel 13
Schwarten	an allen Vor- und Nachschnitt-Sägemaschinen	ohne Rinde 8…22, Mittel 20
Spreissel ohne Rinde Spreissel mit Rinde*	Besäumkreissägen	ohne Rinde 8…22, Mittel 20
Hackschnitzel, rein	Spaner, Kantenfräse, Besäum-Hackmaschine, Wurzelreduzierer	ohne Rinde 20…50
Hackschnitzel, mit Rinde*	Spaner, Kantenfräse, Besäum-Hackmaschine	Schwachholz 40 Starkholz 25
Kappabfälle	Vorkappung nach Gatter, Kappkreissäge	in Pos. „Schwarten“ enthalten
Fransen[2]	Gatter, Doppelwellenkreissäge	gering

* Zu der reinen Holzsubstanz ist der Anteil der Pos. „Rinde“ zuzurechnen

Abgeschätzt werden kann die Restholzmenge zudem über den Abzug der Schnittholzausbeute vom Sägeholz. Nach der unter Kapitel 6 durchgeführten Umfrage unter Laubholzsägern kann die Ausnutzung an Schnittholz je nach Endprodukt zwischen 18-85 % liegen (siehe 6.2.1 unter „Schnittholzausbeute“). Damit würden sich theoretisch Restprodukte in Höhe von 15-82 % ergeben, deren Extremwerte jedoch als Ausnahme zu betrachten sind. Im Durchschnitt beträgt die Restholzmenge 60 %. Dieser Wert stimmt mit Angaben von Lädrach (2008) überein, der von 60 % Nadelschnittholz und 40 % Nebenprodukten ausgeht, aufgeteilt in 24 % Hackschnitzel und 16 % Sägemehl. Umsatztechnisch gesehen bringen Hackschnitzeln 13 %, Sägemehl 2 % und Rinde 1 %. Gesehen an dem Umsatzanteil für Schnittholz mit 84 % sind die Werte zwar klein, aber dennoch ertragswichtig, da die Aufbereitungs- und Vermarktungskosten gering sind. Aus einer in Deutschland durchgeführten Studie aus dem Jahr 2003 (Mantau et al. 2003) geht hervor, dass der Anteil der Nadelholzrestprodukte ohne Rinde im Mittel zu dieser Zeit bei 35,6 % lag und mit zunehmender Betriebsgrösse anstieg. Beim Einschnitt von Laubholz betrugt der mittlere Anteil an Restprodukten ohne Rinde 26,7 % und unterlag keiner so deutlichen Zunahme relativ zur Grösse des Sägewerkes. Ein weiterer Unterschied war die Verteilung der Sägenebenprodukte. Ungefähr die Hälfte der anfallenden Reststoffe beim Laubholzeinschnitt setzte sich aus Sägespänen und Sägemehl zusammen, Schwarten/Spreissel und Hackschnitzel verteilten sich auf den verbleibenden Rest zu ungefähr gleichen Anteilen um die 26 %. Das Hauptsortiment der Nadelhölzer bildeten mit über 50 % die Hackschnitzel, über ein Drittel waren Sägespäne und Sägemehl. Lediglich 6 % fielen als Schwarten und Spreissel an.

[2] Fransen: Fasern die an der Unterseite der Schnittkante entstehen, da sie keine Auflage haben

4.5 Praktisch nutzbare Sortimente anhand von Statistiken

Im diesem Abschnitt soll das theoretisch möglich stofflich oder chemisch verwertbare Potential an Laubholzresten aus Schweizer Wäldern beleuchtet werden. Hilfreiche Daten wurden dafür zum grössten Teil einer Studie der WSL zum Potential und der Verfügbarkeit des Schweizer Waldes als Energieholz und aus Gespräche mit Fachpersonen gewonnen. Beleuchtet werden vor allem das Waldenergieholz sowie Ernteverluste und das im Wald liegengelassene Holz. Diese Analyse beruht auf einer rein hypothetischen Annahme.

Waldenergieholz wurde im Jahre 2008 in Höhe von 1,39 Mio.m³ verwertet, davon 66 % Laub- und 34 % Nadelholz. Grund für diesen Unterschied ist, dass bei Laubhölzern oftmals nicht wie bei Nadelhölzern nur Stammholz der Klasse 1-6 Qualität D (sägefähiges Holz, das wegen seiner Merkmale wie Nekrose, Spritzkern, Kreuzrisse, Insektenbefall) energetisch genutzt werden, sondern ebenso Stammholz der Klasse 1-2 besserer Qualität (Abb. 4-4). Zudem fliest ein höherer Anteil an Stammholz in die Energieholzgewinnung (Abb. 4-5):

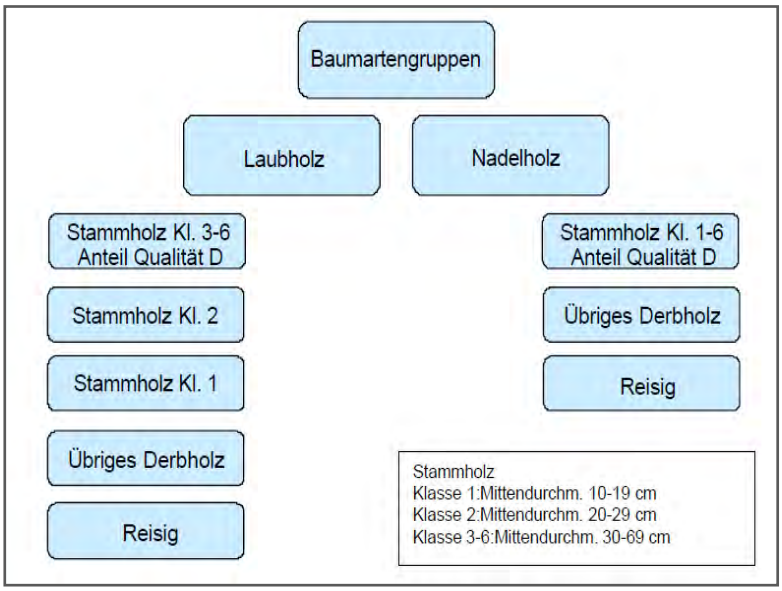


Abb. 4-4: Definition der für Energieholz geeigneten Holzsegmente (Thees und Lemm 2009)

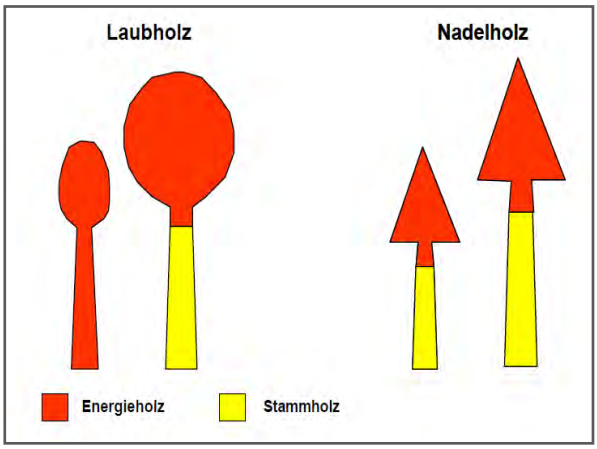


Abb. 4-5: Baumteile von starken und schwachen Bäumen zur Energieholzgewinnung (Thees und Lemm 2009)

Thees und Lemm (2009) ermittelten, dass der Wald längerfristig eine Energieholzmenge von 2,7 Mio.m³, davon 1,4 Mio.m³ Laubholz bereitstellen könnte, ohne dass der aktuelle Holzvorrat minimiert wird (=Szenario A). Verbrannt werden derzeit jährlich 3,6 Mio.m³, davon stammen allerdings lediglich 2 Mio.m³ aus dem Wald, der Rest wird über Restprodukte aus der Holzverarbeitung oder Altholz gedeckt. Unterschieden werden muss jedoch zwischen Holz, was im befahrbaren oder im nicht befahrbaren Gelände geerntet werden kann. Betrachtet man die Einzelzahlen des Szenarios A (zwischen 2006 und 2016) ergeben sich folgende Waldenergieholzmengen:

Tab. 4-3: Waldenergieholzmengen nach Szenario A (2006-2016, keine Minimierung des aktuellen Holzvorrates) (Thees und Lemm 2009)

Szenario A Periode 06-16 (1000 m³ i.R./Jahr) Baummaterial/Qualitäten	befahrbar	nicht befahrbar	total
Nadelholz: Reisig/Astmaterial (Waldrestholz)	683	212	895
Nadelholz: Stammholz schlechter Qualität	296	128	424
Laubholz: Reisig/Astmaterial (Waldrestholz)	476	99	575
Laubholz: Stammholz kleinerer Durchmesser	451	175	626
Laubholz: Stammholz schlechter Qualität	167	43	211
Total	2073	657	2731

i.R.= in Rinde (Derbholz und Reisig)

Wäre es demnach möglich das Holz auf nicht befahrbarem Gelände zu ernten, würde bei einem Verbrauch von 2 Mio.m³ ein Überschuss von ca. 0,7 Mio.m³ existieren. Damit wäre es möglich Laubstammholz kleinerer Durchmesser nicht mehr energetisch, sondern stofflich bzw. chemisch zu verwerten. Zudem ist bei derzeitigen Ernteverfahren mit einem Verlust von 10-15 % durch z.B. abbrechende Äste zu rechnen. Auch bleibt im Moment einiges an Holz im Wald liegen. Im Mittel liegt dieser Wert bei ca. 2-6 % (Hessig 2009), kann jedoch auch bis zu 20 % betragen, was u.a. von der Region abhängig ist. Schwierig befahrbare Regionen oder schlecht erschlossene Gebiete weisen einen deutlich höheren Wert auf als gut zugängliche Wege wie im Mitteland. Hier bleibt das Holz oftmals liegen, da nicht immer das komplett geerntete Holz abgesetzt werden kann. Ein Abtransport würde bei beiden Situationen wirtschaftlich keinen Sinn machen. Mit neueren Techniken und Transportsysteme bestände daher die Aussicht die Wertschöpfung des Holzes zu erhöhen.

4.6 Holzreste mit unterschiedlichen Zerkleinerungssgraden

Die verschiedenen Holzwerkstoffe, aber auch Zweige der stofflichen und chemischen Verwertung, verlangen unterschiedliche Dimensionen und Aufschlussgrade des Ausgangsmaterials. So werden für Spanplatten Holzspäne benötigt, für Faserplatten Holzfasern oder für Linoleum Holzmehl. Die charakteristischen Eigenschaften eines Werkstoffs werden dabei neben technologischen Parametern hauptsächlich vom Aussehen und der Grösse der Holzpartikel bestimmt. Je kleiner diese sind, desto geringer ist der Einfluss spezifischer Vollholzmerkmale wie Quellen und Schwinden, Verformungen, Spannungen und der damit verbundenen möglichen Schwierigkeiten bei der Verklebung oder Trocknung. Die Qualität des Holzes tritt dabei in den Hintergrund, weshalb mindere Holzqualitäten aus dem Wald und Holzreste der Sägewerke so attraktiv für Span- und Fasermaterialien sowie Holzmehlwerkstoffe und chemische Produkte sind. Enormen Einfluss auf spätere Festigkeitseigenschaften besitzt der sogenannte Schlankheitsgrad, der darüber

entscheidet, ob das Holz später als Füllstoff oder Verstärkung dient. Unter diesem Begriff wird das Verhältnis von Länge zu Dicke (l/d) eines Partikels verstanden. Je dünner der Partikel im Gegensatz zur Länge, desto höher ist seine Festigkeit. In Tabelle 4-4 werden die wichtigsten Sorten von Holzresten mit unterschiedlichen Zerkleinerungs- und Aufschlussgraden vorgestellt.

Tab. 4-4-: Im Wald und im Sägewerk anfallende Holzreste mit unterschiedlichen Zerkleinerungsgraden (Deppe und Ernst 1991; Lohmann und Annies 1998; Deppe und Ernst 2000; Lohmann 2003; Vogt et al. 2006)

Hackschnitzel	**Kennwerte**	**Herstellung**	**Eigenschaften**	**Einsatzgebiete**
Werkshackschnitzel	Dicke: 3-6 mm Breite: 20-30 mm Länge: 25-40 mm Länge/Dicke: ca. 5:1	aus Industrieholz, Industrierestholz und Sägewerksrestholz mittels Hacker erzeugte Kleinteile	höherer Rindenanteil aus Sägewerksrestholz als aus Industrieholz; Homogenität bestimmt durch Anteil an Überlängen und Kleinschlag	- Zellstoffherstellung - Heizmaterial - Span- und Faserplattenherstellung - Bodenabdeckung - Pilzzucht
Waldhackschnitzel	Dicke: 3-6 mm Breite: 20-30 mm Länge: 25-40 mm Länge/Dicke: ca. 3,5:1	aus Waldhackgut erzeugte Kleinteile; Verfahren: teilmechanisiert oder vollmechanisiert	gegenüber Werkshackschnitzeln: Nadel- und Blätteranteil; höherer Ast-, Fein-, Sand-, Extraktstoffanteil u. pH-Wert; niedrigere Schüttdichte; geringerer Faseranteil; kürzere Lagerfähigkeit	Spanplatten-, Faserplatten- und Zellstoffherstellung; Heizmaterial; Bodenabdeckung; Pilzzucht
Holzspäne	**Kennwerte**	**Herstellung**	**Eigenschaften**	**Einsatzgebiete**
Hobel-, Fräs- und Bohrspäne	unterschiedliche Spangrössen	Erzeugung bei entsprechenden Arbeitsgängen; Aufbereitung durch verschiedene Mahlungen u. Siebungen	Anteil steigt mit Rauigkeit der Ausgangsflächen; Spanformen ringel-, schuppen- und kommaförmig, sehr heterogen und mit Staubanteilen versetzt	Spanplatten-, Faserplatten- und Zellstoffherstellung; Dämmstoffe; Energiezwecke
Sägespäne	Spangrösse abhängig von Zahnteilung, Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit	Erzeugung bei unterschiedlichen Sägevorgängen	Höhe des Anteils abhängig von der Säge; Spanformen: würfelig, stift- o.faserförmig	u.a. Räucher-, Saug-, Füll-, Filtermittel, Energieerzeugung; nach Aufbereitung in Faser-, Spanplatten, Pressformteilen
Holzfasern	**Kennwerte**	**Herstellung**	**Eigenschaften**	**Einsatzgebiete**
Tracheiden (NH), Libriformfasern (LH)	Länge: - NH: 2,8-3,8 mm - LH: bis 1,5 mm Länge/Dicke: - NH: 100:1 - LH: 38-60:1	Kochen unter Druck in Chemikalien; Schleifen unter Zugabe heissen Wassers; Defibrieren im Refiner	Gewinnung aus allen Hölzern möglich; Faserlänge beeinflusst Verfilzung und notwendigen Klebstoffeinsatz	Faserplatten-, Zellstoff-, Papierherstellung
Holzmehl	**Kennwerte**	**Herstellung**	**Eigenschaften**	**Einsatzgebiete**
Holzmehl	Länge=Breite: 0,3-0,4 mm Länge/Dicke: 1:1	Mahlen von Holzabfällen	keine Festigkeitseigenschaften, nur Füllmittel	u.a. Kunstharzpressmassen, Linoleum, Filter-, Putz-, Poliermittel, Tapetenstreu

5 VERWERTUNGSSMÖGLICHKEITEN VON LAUBHOLZRESTEN

5.1 Holzwerkstoffe

Allgemein lassen sich Holzwerkstoffe als Materialien, die „durch Zerlegen des Holzes und anschliessendes Zusammenfügen der entstandenen Teile in geeigneter Weise, häufig (aber nicht ausschliesslich) mit Hilfe von Klebstoffen“ entstehen, charakterisieren (Wagenführ und Scholz 2008). Da Holzwerkstoffproduzenten zu den wichtigsten Abnehmern für Resthölzer und Sägenebenprodukte gehören, würden sie eine bedeutende Stellung in der Verwertung von Laubholzresten einnehmen. Im Moment verwerten sie überwiegend Reste aus Nadelholz. Holzwerkstoffe werden je nach Aufschlussgrad und Aufbau in fünf Gruppen aufgeteilt – Vollholz-, Furnier-, Span-, Faser- sowie Verbundwerkstoffe.

Einschränkungen für die Produktion von Holzwerkstoffen aus Laubhölzern können mitunter je nach Land aus Richtlinien für Tätigkeiten oder Verfahren resultieren, bei denen Arbeitskräfte Holzstäuben, vor allem aus Hartholz, ausgesetzt sind. Da Laubholzstäube als Auslöser für allergische und toxische (bis hin zu kanzerogenen) Reaktionen der Atemwege und Schleimhäute gelten, darf die holzbe- und verarbeitende Industrie in vielen Ländern maximale Holzstaubkonzentrationen der Luft nicht überschreiten. So betragen in Deutschland nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) die gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und in Österreich nach der Grenzwerteverordnung (GKV) die Technischen Richtkonzentrationen (TRK-Werte) 2 mg/m³ für Neuanlagen und 5 mg/m³ für Maschinen, an denen nach dem Stand der Technik der Luftgrenzwert nicht eingehalten werden kann (Anonymus 2007b, 2008b). Als besonders gefährlich werden aufgrund der nachgewiesenen Kanzerogenität Hartholzstäube eingestuft. Da Buche und Eiche die meist verwendeten Laubholzarten in Mitteleuropa sind, sind sie von dieser Regelung besonders betroffen. In Betrieben, in denen in erheblichen Umfang Buche bzw. Eiche be- und verarbeitet wird, herrschen daher besondere Vorschriften. Ein erheblicher Umfang liegt vor, wenn der Hartholzanteil mehr als 10 % des jährlichen Holzeinsatzes ausmacht. In diesem Fall gilt ein Umluftverbot, wodurch die Rückführung von Abluft, auch wenn sie gereinigt ist, verboten ist.

Thema der Recherche ist das Aufzeigen von Verwendungsmöglichkeiten für Laubholzreste. Daher wird in dieser Arbeit auf die Holzwerkstoffe eingegangen, die ausschliesslich aus anfallenden Resten und minderen Qualitäten herstellbar sind herstellbar sind. Das sind zum einen die Span und zum anderen die Faserwerkstoffe. Je nach Zusammensetzung gehören auch einige Leichtwerkstoffe in diese Gruppe. Nicht näher beleuchtet werden Vollholz- und Lagenwerkstoffe.

5.1.1 Spanwerkstoffe

Mit einem Produktionsvolumen von 40,1 Mio.m³ im Jahre 2008 ist die Spanplatte mit 61 % dominierend unter den Span- und auch Holzwerkstoffen in Europa. Auch in der Schweiz führte sie die Produktion mit 540.000 m³ im Jahre 2007. Zudem ist die Spanplatte weltweit verbreitet und (bei jährlich steigendem Verbrauch). Charakteristisch für alle Spanwerkstoffe ist die plattenförmige Struktur, hervorgerufen durch das Verpressen von Spänen (meist aus Holz, selten auch aus holzähnlichen Faserstoffen wie Flachsschäben, Hanf oder Stroh) mit Bindemitteln. Vorteil aller Spanwerkstoffe ist, dass die Produktion mit weniger qualitativen, preiswerten Rohholz sowie Industrie- und Restholz möglich ist. Spanwerkstoffe bestehen zum überwiegenden Teil aus Nadelhölzern. Laubhölzer, wie Buche, Eiche, Erle, Esche, Pappel und Kastanie werden zwar auch, jedoch in viel kleineren Mengen beigemengt. Eine Erhöhung des

Laubholzanteils wäre möglich, das bezeugen vergangene und aktuelle Untersuchungen (Klauditz 1952; Buschbeck et al. 1961; Kehr 1962b).

Eine Variante der Klassifizierung spanbasierter Werkstoffe liefert die DIN EN 309 (2005) mit folgender Einteilung:

- Herstellungsverfahren (flach-, kalander-, stranggepresst)
- Oberflächenbeschaffenheit (roh, geschliffen oder gehobelt, flüssig- oder pressbeschichtet)
- Form (flach, mit profilierter Oberfläche, mit profilierten Schmalflächen)
- Grösse und Form der Teilchen (Holzspanplatte, Platte aus anderen Spänen)
- Plattenaufbau (ein-, mehrschichtig, mit stetigem Strukturübergang, stranggepresste Platte mit Röhren)
- Verwendungszweck (allgemeine Zwecke, Inneneinrichtung im Trockenbereich, nicht tragende Zwecke im Feuchtbereich, tragende Zwecke im Trocken- und Feuchtbereich, hoch belastbare Platten im Trocken- und Feuchtbereich)

Hauptvertreter der Werkstoffgruppe ist bislang zweifelsohne die konventionelle Spanplatte, jedoch finden auch Spezialsortimente wie OSB (Oriented Strand Board) oder mineralgebundene Spanplatten immer breitere Anwendungsgebiete. Im Folgenden werden einzelnen Kategorien vorgestellt, Forschungsergebnisse von Produkten bestehend aus einer einzigen Laubholzart und Mischprodukten aus Nadel- und Laubholz beschrieben und wenn möglich Produkte aufgeführt, in denen Laubhölzer schon erfolgreich verwendet werden.

1. Die klassische Spanplatte

***Grundsätzliches*:** Hauptrestprodukt für die Herstellung von Spanplatten sind Holzspäne und Hackschnitzel. Veröffentlichungen aus der Mitte des 20. Jahrhunderts bezeugen, dass schon zu damaliger Zeit aufgefordert oder nach Lösungen gesucht wurde, um der Verknappung der Nadelhölzer entgegenzuwirken (Klauditz 1952, 1955; Buschbeck et al. 1961). Das belegt, dass die derzeitige Rohstoffsituation der Nadelhölzer keine Erscheinung der heutigen Zeit, sondern bereits seit Jahrzehnten thematisiert wird.

Industriell hergestellt wurden Spanplatten aus Laubhölzern, speziell aus Buche, bereits im Jahr 1951. Das Werk Bučina in der ehemaligen Tschechoslowakei gilt als Geburtsstätte der sogenannten Bucas-Spanplatten aus Buchenrohholz mit einer jährlichen Produktionskapazität von 15.000 m³. Auch in der Bundesrepublik Deutschland, besonders in Niedersachsen, wurden um 1960 beträchtliche Mengen an Buchenholz zur Anfertigung von Spanplatten genutzt. Ebenso verarbeiteten zwei Spanplattenwerke der ehemaligen DDR zu dieser Zeit Buchenrestrollen der Furnier-Industrie sowie Buchenreste der Industrie. Derzeit werden Laubhölzer den Spanplatten beigemengt. Die Buche ist auch hier die meist verwendete Holzart. Die Kronospan Schweiz AG, einer der wichtigsten Holzwerkstoffhersteller der Schweiz, verarbeitet jährlich ca. 850.000 m³ Holz, davon immerhin 40 % Laubholz bei einem ungefähren monatlichen Verbrauch von 5.000 – 20.000 m³, meist Buche (Howald 2009a, 2009b). Der durchschnittliche Anteil an Laubholz des österreichischen Holzwerkstoffherstellers Fritz Egger GmbH & Co. lag 2008/2009 mit 8 % deutlich darunter. Das liegt aber auch daran, dass nach Angaben des Unternehmens viel Laubholz aus der Schweiz bzw. Süddeutschland importiert werden musste (Karbun 2009).

***Forschung*:** Klauditz (1952) führte Untersuchungen an einschichtigen Spanplatten durch, die aus Spangemischen aus Buche und Fichte bestanden. Er fand heraus, dass zwar zur Erlangung ausreichender Festigkeiten bei Buchenspanplatten eine Erhöhung der Plattenrohdichte

notwendig ist, jedoch im allgemeinen Buchenholz gut geeignet ist und zudem den Vorteil besitzt, dass höhere Ausbeuten je eingesetzten Kubikmeter erzielt werden können. Weitere Untersuchungen (Klauditz und Buro 1960) zeigten, dass mit steigendem Buchenholzanteil die Abhebefestigkeit sowie die Biegefestigkeit abnehmen, die Dickenquellung jedoch nur gering verändert wird.

Auf der Grundlage der Ergebnisse von Klauditz führte das heutige Institut für Holztechnologie Dresden (IHD) „Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und Sortimente zur Herstellung von Spanplatten“ unter der massgeblichen Leitung von E. Kehr durch. Neben dem Einfluss des Hydrophobierungsmittels und des Härteranteils wurden die technischen Eigenschaften von Mittelschichten aus verschiedenen Laubhölzern wie Rotbuche, Eiche, Pappel, Erle und Birke und Ulme geprüft. Wegen struktureller Unterschiede ist es für ein optimales Ergebnis wichtig, die Prozessbedingungen wie z.B. Verleimung, Presstechnik und Hydrophobierung der jeweiligen Holzart anzupassen (Kehr 1962a; Kehr und Schilling 1965b). Zur Herstellung eignen sich alle genannten Holzarten und Mischungen, entscheidend für eine gleichmässige Plattenqualität sind allerdings konstante Mischungsverhältnisse. Die wichtigsten Ergebnisse zu einzelnen wichtigen Laubholzarten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Buche: Buschbeck, Kehr und Jensen (1961) führten im Gegensatz zu Klauditz die Untersuchungen an dreischichtigen Platten durch, da hierbei mit den Faktoren Bindemittelanteil, Wasserhaushalt und Spandicke die Qualität der Spanplatte sowie die Rohdichteverteilung in den einzelnen Lagen beeinflusst werden kann. Zudem wollte man damit der Abnahme der mechanischen Platteneigenschaften bei der Verwendung von schweren Laubhölzern entgegenwirken. Es wurden dreischichtige Platten allein aus Kiefer oder Buche sowie Kombinationen aus Kiefer-Deckschichten und Buchen- bzw. Kiefer/Buchen-Mittelschichten angefertigt. Im Gegensatz zum einschichtigen Aufbau bei Klauditz, wies der dreischichtige einen Zusammenhang zwischen Ausgangsrohdichte der Holzart und Abhebefestigkeit auf. Die Kiefernspanplatten besassen geringere Abhebefestigkeiten als die Buchenspanplatten. Übereinstimmungen zu den Ergebnissen von Klauditz gab es allerdings bei der Biegefestigkeit. Spanplatten aus Hölzern höherer Dichte (in diesem Fall Buche) wiesen um bis zu 30 % geringere Biegefestigkeiten auf als solche aus Kiefer bei gleicher Plattenrohdichte von 0,60 g/cm³. Äquivalente Biegefestigkeitswerte werden durch eine Erhöhung der Plattenrohdichte auf 0,70 g/cm³ erreicht. Optimalste Werte ergaben sich bei einer dreischichtigen Platte mit Decklagen aus Kiefer und einer Mittelschicht aus Buche bei einer Plattenrohdichte um 0,65 g/cm³. Als ausserordentlich positiv dagegen erwies sich die Ausbeute an Buchenspanmasse je Schichtfestmeter aufgrund der höheren Rohdichte des Holzes. Selbst bei einer Plattenrohdichte von 0,70 g/cm³ werden bis zu 15 % an Buchenholz gespart, um Spanplatten herzustellen.

Erle: Auch Klauditz (1952) führte Untersuchungen zur Verwendung von Erlenholz in Spanplatten durch und kam zu dem Ergebnis, dass es gut geeignet ist. Zur damaligen Zeit wurde Erlenholz in der deutschen Bundesrepublik und in anderen europäischen Ländern in grösserem Umfang für die Spanplattenproduktion herangezogen. Für die Schweiz wurde 1961 ein Anteil an Erle von 8 % angegeben (Hoppeler 1961). Der Grund für weitere Untersuchungen von Kehr war ein unzureichendes Wissen über den Einfluss des Zusatzes auf die Abhebefestigkeit und Dickenquellung. Die Resultate bestätigten jedoch die Aussage von Klauditz (1952). Die gute Zerspanbarkeit des Erlenholzes sowie die grosse Gleichmässigkeit der Späne ermöglichen eine Nutzung für Deck-und Mittelschichten. Die Biegefestigkeit im Rohdichtebereich zwischen 0,30 bis 0,70 g/cm³ und die Dickenquellung der Spanplatten mit Mittelschichten aus Erle ist vergleichbar mit Platten aus Kiefernholz, die Abhebefestigkeit sogar höher (Kehr 1962b).

Inwieweit sich eine derzeitige Nutzung von Erlenholz für Spanplatten lohnt, ist fraglich. Dem aktuellen Landesforstinventar von 2004/06 sind keine detaillierten Daten zum Bestand zu entnehmen, so dass von einem kleinen Erlenvorrat ausgegangen werden muss. Grund dafür sind u.a. die Standortansprüche der Erle. Sie gedeiht am besten auf dauernd nassem Boden mit ausreichender Basenversorgung. Solche Standorte sind in der Schweiz kaum zu finden.

Birke: In der Schweiz spielt die Birke als Nutzholz eine untergeordnete Rolle. Anders sieht es in Russland und Skandinavien aus, wo ganze Birkenwälder mit vor allem guten und geraden Schaftformen vorkommen. In diesen Ländern wird das Holz in grossem Umfang für Spanplatten eingesetzt. Den Untersuchungen von Kehr und Schilling (1965a) zufolge weisen Birkenspanplatten im Rohdichtebereich von 0,50 bis 0,70 g/cm³ geringere Biege-und Abhebefestigkeiten sowie eine deutlich höhere Dickenquellung als Kiefernspanplatten auf. Die besten Werte, d.h. keine Minderung der Platteneigenschaften, wurden mit dreischichtigen Platten, deren Mittelschicht aus Kiefernspänen und 25 % Birkenspänen bestand, erzielt.

Eiche: Die Eiche ist mit einem aktuellen Vorrat von 9,10 Mio.m³ (Brändli 2010) die viert häufigste Baumart der Schweiz. Sie wird derzeit zu gewissen Anteilen für die Herstellung von Spanplatten eingesetzt. Reine Eichenspanplatten wären aufgrund des höheren Einkaufspreises unwirtschaftlich. Zu grosse Mengen eignen sich zudem nicht, da die Eiche aufgrund ihres hohen Gerbstoffgehaltes Verfärbungen in der Platte verursachen kann und damit die Qualität mindern. Im Gemisch mit anderen Holzarten eignet sich die Eiche jedoch hervorragend für die Mittelschicht von Spanplatten. Das zeigen auch die Untersuchungen von Kehr und Schilling (1965b). Spanplatten aus 25 bis 100 % Eiche in der Mittelschicht ergaben im Gegensatz zu Mittelschichten aus 100 % Kiefernspänen ähnliche Rohdichte-, Biegefestigkeits- und Abhebefestigkeitswerte. Als besonders positiv erweist sich der Einfluss auf die Dickenquellung, die mit steigendem Eichenanteil um bis zu 4 % sank.

Weiterhin untersuchte Grigoriou (1981) den Einfluss u.a. von Rotbuche, Eiche, Pappel und Hainbuche auf die Deckschichten dreischichtiger 20 mm starker Spanplatten mit einem Kern aus Rotbuche. Neben Querzug-, Biege- und Abhebefestigkeit prüfte er das Verhalten gegenüber Feuchte sowie die Rauheit der Spanplattenoberfläche. Seinen Ergebnissen ist zu entnehmen, dass Spanplatten mit einer Deckschicht aus Rotbuche zwar die niedrigsten Biegefestigkeiten unter den ausgewählten Laubhölzern, jedoch die grössten Querzugfestigkeits- und dritthöchsten Abhebefestigkeitswerte erzielten. Die beste Abhebefestigkeit erlangten Spanplatten mit Deckschichten aus Eiche. Zudem wirkte sich deren hoher Gerbstoffgehalt besonders positiv auf die Dickenzunahme bei Feuchteaufnahme aus. Auffällig ist, dass die ermittelten Werte in beinahe allen Klassen den heutigen Anforderungen einer Spanplatte nach DIN EN 312 (2009) gerecht werden würden. In der folgenden Tabelle sind Querzug- und Biegefestigkeiten sowie Dickenquellung aus der Veröffentlichung von Grigoriou (1981) den Forderungen der DIN EN 312 (2009) gegenübergestellt.

Tab. 5-1: Werte für Querzug- und Biegefestigkeit sowie Dickenquellung (Grigoriou 1981; DIN EN 312 2009)

Eigenschaft	DIN EN 312 P1 – P7 (Dickenbereich 13 – 20 mm)	Werte nach Grigoriou (Plattendicke 20 mm)							
		Rotbuche		Eiche		Pappel		Hainbuche	
		Deckschichtanteil [%]							
		35	50	35	50	35	50	35	50
Biegefestigkeit [N/mm²]	10 - 20	25,48	26,42	27,54	28,65	27,13	28,14	28,08	29,49
Querzugfestigkeit [N/mm²]	0,24 – 0,70	0,61	0,58	0,52	0,49	0,50		0,59	0,57
Abhebefestigkeit [N/ mm²]	0,80 (Angabe nur für P2)	1,57	1,53	1,65	1,65	1,23	1,27	1,58	1,57
Dickenquellung [%]	10 - 15	12,20	9,88	9,06	6,44	11,56	8,23	13,63	9,98

P1 – P7= Klassen der Plattentypen, wobei
P1: Platten für allgemeine Zwecke im Trockenbereich
P2: Platten für Inneneinrichtungen (einschliesslich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich
P3: Plattem für nicht tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich
P4: Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich
P5: Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich
P6: hoch belastbare Platten für tragende Zwecke im Trockenbereich
P7: hoch belastbare Platten für tragende Zwecke im Feuchtbereich

Anzumerken ist, dass nur in der Klasse P7 eine Querzugfestigkeit von 0,70 N/mm² verlangt wird, die restlichen Klassen fordern lediglich Werte bis 0,50 N/mm².

Auch neuere Studien zeugen vom Interesse Substitutrohstoffe für sonst üblichen Holzarten Kiefer und Fichte zu finden. Vos und Kharazipour (2008) stellten dreischichtige Sandwichplatten aus Buchenspäne in der Mittelschicht und Küstentanne in den zwei Deckschichten her und führten Prüfungen zur Biege-, Abhebe- und Zugfestigkeit sowie Dickenquellung durch, dessen Ergebnisse mit Referenzplatten der Firma Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH & CO. KG bestehend aus einem industriellen Spangemisch verglichen wurden. Die Werte aller drei untersuchten Festigkeiten lagen deutlich über denen der Referenzen und erfüllten bereits ab einer Plattenrohdichte von 600 kg/m³ die Anforderungen für tragende Zwecke im Trockenbereich. Die Quellungswerte der Sandwichplatten waren innerhalb von zwei Stunden höher, nach 24 Stunden jedoch niedriger als die Referenzmaterialien. Diese Untersuchung verdeutlicht damit, dass sich trotz der relativ hohen Rohdichte des Buchenholzes, leichte Platten mit einer hohen Dimensionsstabilität fertigen lassen.

2. Mineralgebundene Spanplatten

Grundsätzliches: Die Anfänge mineralgebundener Spanplatten sind auf den französischen Physiker Stanislas Sorel zurückzuführen. Er entwickelte 1867 das sogenannte Steinholz (auch Xylolith genannt), ein fugenloser Bodenbelag aus Magnesiazement und Holzspänen, der eine hohe Wärmekapazität und gute Schalldämmung aufwies. Im Anschluss folgten 1926 mineralgebundene Holzwolle-Leichtbauplatten. Beide besitzen eine hohe Wärmekapazität und Fähigkeit, Schall sehr gut zu dämmen. Neben der Holzwolle wurden ab 1930 auch Holzspäne für die Fertigung zementgebundener Formkörper unter dem Namen „Durisol“ verwendet. Diese Materialien sind schwerer als HWL-Platten und zeichnen sich durch gute Wärmedämmwerte aus. „Durisolplatten“ folgten 1973 und sind als erste zementgebundener Spanplatte ein Produkt einer Schweizer Firma mit dem Namen „Durisol“, die auch heute noch Dach- und Deckenplatten aus Holzfaserbeton herstellt. Zusätzlich zu Magnesit und Zement

dient heutzutage auch Gips als Komponente. Der Holzanteil der Platten liegt bei ca. 20 – 25 %, das Bindemittel ist mit 60 - 65 % vorhanden, den Rest bilden Zusatzstoffe und Wasser. Wie bei den klassischen Spanplatten wird auch hier überwiegend Restholz eingesetzt. Zementgebundene Spanplatten besitzen ein gutes Brandverhalten und sind feuchte- und pilzresistent. Ihre Einsatzgebiete sind Bekleidungen für Wände, Decken und Böden. Mit Magnesit gebundene Spanplatten sind zwar empfindlicher gegenüber Feuchte, zeichnen sich jedoch durch eine gute feuerhemmende Wirkung aus, was ihre Anwendung im Schiffs- sowie Holzhaus-Innenausbau erklärt.

Forschung: Für mineralgebundene Spanplatten werden im Moment wie bei der klassischen Variante überwiegend Nadelhölzer verwendet. Jedoch befinden sich auch hier unter den einsetzbaren Holzarten Laubhölzer. Über die Verfahrenstechnik-Industrie von HWL-Platten berichteten bereits Vorreiter (1943). Seinem Handbuch für Holzabfallwirtschaft ist zu entnehmen, dass das Holz von Fichte, Tanne und Kiefer, aber auch von Buche, Aspe, Linde und weiteren weichen Laubhölzern stammen kann.

Diese Aussage war allerdings nur eingeschränkt gültig. Man stellte schnell fest, dass zwischen den Holzarten durchaus Unterschiede bezüglich ihrer Eignung vorlagen. Die Fichte erwies sich als geeignet, Kiefer, Buche und Eiche dagegen nicht. Um diesem Problem auf den Grund zu gehen, führten Sandermann und Dehn (1951) Untersuchungen zum Einfluss chemischer Faktoren auf die Festigkeitseigenschaften zementgebundener Holzwolleplatten durch. Die Annahme, das Verhalten hänge vom Harzgehalt ab, erwies sich als falsch. Vielmehr sind es die **wasserlöslichen Extraktstoffe des Holzes wie Zucker, höhere Kohlenhydrate, Gerbstoffe und Phenolverbindungen des Lignins**, **die die Kristallisation der Hydratationsprodukte des Zementes verzögern**. Daher führten Fichte und Pappel zu guten Ergebnissen, Buche und Eiche dagegen nicht. Weitere Studien an Zement haben gezeigt, dass bereits Zusätze von 0,25 % Glucose, Saccharose und Xylose, bezogen auf das Zementgewicht, zu vollkommen unbrauchbaren Platten führen. Zusätzlich besitzen die Inhaltsstoffe Tannin und Conindentrin eine abbindeverzögernde Wirkung (Sandermann und Brendel 1956). Sandermann et al. (1960) vermuteten anschliessend, dass sich durch die Inhaltsstoffe eine Schutzhaut um die Zementpartikel legt und somit der nötige Zutritt des Wassers zur Abbindung verhindert wird. Zur Abklärung dieses Zusammenhangs wendete er drei methodische Herangehensweisen an, die seine These allesamt bestätigten. Es zeigte sich, dass Glucose in gesättigter Calciumhydratlösung unlösliche Calciumsalze bildet, die die Oberfläche des Zementpartikels umschliessen. Nach Untersuchungen von Simatupang (1975) findet zudem ein teilweiser chemischer Abbau der Zellwand (besonders der Hemicellulose) statt, der wiederum Bruchstücke freisetzt, die die Abbindung des Zementes stören.

Mit einem eigens entwickelten Schnelltest, war es Sandermann und Kohler (1964) möglich, 99 Hölzer auf ihre Tauglichkeit für zementgebundene Werkstoffe zu untersuchen. Der übersichtlichen Ergebnisdarstellung in Tabellenform ist zu entnehmen, dass unter den einheimischen Laubholzarten Pappel und Edelkastanie als geeignet, Eiche als bedingt und Buche, Ahorn, Erle sowie Birke als nicht geeignet gelten.

Die Erkenntnisse über die Wirkung des Holzes auf den Zement erforderten Lösungen zur Kompatibilität von Zement und Holz. Eine Möglichkeit bestand in der Zugabe von Additiven, die den Alkaliangriff verhindern. Weiterhin erfolgte eine Beschleunigung des Abbindevorganges, bevor es zu einer Diffusion der schädigenden Inhaltstoffe des Holzes in der ersten Erhärtungsphase des Zementes kommen konnte.

Da die Buche in vielen europäischen Ländern schon immer eine der am meist vorkommenden Laubholzarten war, befassten sich schliesslich Schwarz und Simatupang (1984) eingehender mit der Ursache der Erhärtungsstörung und der Eignung möglicher Vorbehandlungen.

Untersucht wurde hierbei der Einfluss der Lagerung, des Dämpfens sowie der Wasser- und Natronlaugenextraktion. Die Lagerungsversuche ergaben eine Abnahme an löslichen Zuckern von ursprünglich 0,4 % auf 0,1 %, wobei die im Freien gelagerten Proben bessere Ergebnisse brachten. Dass dieses Herauslösen schon Einfluss auf die Aushärtung hat, zeigte die Messung der Hydratationstemperatur, die mit sinkendem Zuckergehalt zunahm. Als ungeeignetes Mittel erwies sich dagegen das Dämpfen der Buche. Die Abnahme an niedermolekularen Zuckern war zu gering für einen spürbaren Effekt. Zudem werden Komponenten der Zellwand abgebaut, deren Bruchstücke ebenfalls die Aushärtung hemmen. Zwischen den zwei Extraktionsvarianten war die mit Wasser die einfachere Methode mit den besseren Ergebnissen. Die schädlichen Inhaltsstoffe konnten so weit entfernt werden, dass im Anschluss Platten mit ausreichenden Festigkeiten hergestellt werden konnten. Durch den Einsatz alkaliarmer Zemente kann der Abbau der Hemicellulosen besonders bei schwach inhibitorisch wirkendem Holz wie Nadelholz erheblich reduziert werden. Bei stark inhibitorisch wirkendem Holz wie Laubholz sollten aufgrund der stärkeren Abbaubarkeit der Hemicellulosen zusätzlich Abbinderegler eingesetzt werden. Dabei erwies sich Magnesiumchlorid in entsprechend auf die Höhe der Inhibitoren abgestimmter Konzentration als geeignetes Mittel (Schubert et al. 1990).

Die bisher genannten Lösungen sind allerdings meistens mit Mehrkosten, einer komplizierten Herstellung oder Nachteilen für das Endprodukt verbunden. Als effektivere und günstigere Variante erweist sich nach neuesten Untersuchungen an Holzleichtbeton mit Holzspänen aus Buche sowie Fichte/Tanne die Verwendung von Dodekacalciumheptaaluminatfluorid. Während der Hydratation des Zementes kommt es zur vermehrten Bildung des Minerals Ettringit, das zum schnellen Erstarren und Erhärten des Materials führt (Urbonas et al. 2009). Mit dieser Methode wären letztendlich auch Laubhölzer geeignete Materialkomponenten. Auch Alpár und Rácz (2007) verfolgten die Intention der Kostensenkung zementgebundener Spanplatten. Sie untersuchten dafür zum einen die Möglichkeit der Verwendung einer Lösung aus Calciumchlorid und Calciumformiat als Ersatz des bisherigen Additivs Wasserglas zur schnellen Abbindung des Zementes. Zum anderen verwendeten sie Pappel als alleinige Holzkomponente oder in Kombination mit Kiefer. Beide Methoden brachten positive Ergebnisse. Das neue Additiv erhöhte bei fast allen Varianten die mechanischen Eigenschaften. Obwohl die Festigkeiten von Pappel unter denen von Kiefer liegen, entstanden Platten mit zum Teil höheren Festigkeitswerten. Als besonders geeignet erwiesen sich die Kombinationen Kiefer/Pappel von 40/60 bzw. 20/80. Die Festigkeiten zementgebundener Platten nur aus Pappel waren etwas niedriger, jedoch noch in Bereichen derer aus Kiefer. Gründe für die gute Tauglichkeit sind in den Inhaltstoffen und der Form der Späne zu sehen. Pappel besitzt wenige abbinde hemmende Substanzen sowie lange, wellige Späne, die sich besser verketten.

3. OSB (Oriented Strand Board)

Grundsätzliches: Nach DIN EN 300 (2006) sind OSB aus langen, flachen Holzspänen (Strands) und mit einem Bindemittel gefertigte Mehrschichtplatten. Die Ausrichtung der Strands der Aussenschichten ist parallel zur Plattenebene oder –breite, wohingegen die Strands der Mittelschicht zufällig oder rechtwinklig zu den Strands der Aussenschichten angeordnet sind. Die Grösse eines Strands nach heutigem Standard beträgt 50 mm in der Länge und bis zu 2 mm in der Dicke. Die Klassifizierung erfolgt in vier Plattentypen von Platten für nicht tragende Zwecke im Trockenbereich bis hin zu hochbelastbaren Platten für tragende Zwecke im Feuchtbereich.

Der Ursprung der OSB Platte geht eigentlich auf Untersuchungen an zementgebundenen Faserplatten im Jahre 1946 zurück. Armin Elmendorf setzte damals bei Entwicklungsarbeiten

in Palo Alto, Kalifornien, USA gerichtete Späne ein. Einige Zeit später von 1952 bis 1955 führte auch Klauditz Untersuchungen zur Spanorientierung durch. In einem Patent nennt Elmendorf (1965) seine mineralgebundenen Spanplatten bereits „Oriented Strand Board“ und wie aus der Bezeichnung ersichtlich wird, die Späne „Strands“. Elmendorf (1969) entwickelte zudem eine maschinelle Methode zur parallelen Ausrichtung der Späne. Zur industriellen Produktion und verfahrenstechnischen Weiterentwicklung kam es allerdings erst um 1975 in Nordamerika. In Europa startete die OSB-Fertigung schliesslich in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts. Nordamerika verwendet als Rohstoff für die Fertigung hauptsächlich Pappel oder Douglasie, europäische Hersteller setzen wie bei der klassischen Spanplatte überwiegend Kiefer ein.

Forschung: Bereits ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden in Europa Untersuchungen zur Orientierung der Späne in Spanplatten durchgeführt, da erkannt wurde, dass die Ausrichtung und die Abmessungen der Holzpartikel die mechanischen Eigenschaften erheblich beeinflussen. Mit der klassischen Spanplatte wird durch das Verpressen unterschiedlich grosser Späne mit einem Bindemittel ein annähernd isotroper Werkstoff erzeugt, dessen Quell- und Schwindverhalten in der Plattenebene nahezu gleich ist, der jedoch geringere Festigkeiten als Vollholz aufweist. Bei der OSB dagegen wird die Festigkeitsanisotropie des Holzes durch die gerichtete, überlappende Verleimung dünnflächiger, langer und faserparallel geschnittener Späne genutzt. Damit entsteht ein Werkstoff, der in der bevorzugten Richtung der Späne die Festigkeitswerte besonders die Biegefestigkeit einer Spanplatte weit übertrifft. Über einzelne Parameter kann zudem Einfluss auf die Festigkeit genommen werden. OSB können demnach ähnlich dem Sperrholz zur Aussteifung von Gebäuden eingesetzt werden, zeichnen sich jedoch durch einen bedeutend geringeren Preis aus.

Klauditz et al. (1960) zeigten, dass durch unterschiedliche Rohdichten des Holzes die Biegefestigkeit gesenkt bzw. erhöht werden kann. Dabei ergab sich, dass vor allem niedrigere Rohdichten zu hohen Biegefestigkeiten führen. Auch die Spandicke und die Plattenrohdichte beeinflussen massgeblich die Biegefestigkeit. Dünnere Späne sowie grössere Plattenrohdichten bewirken deutlich höhere Werte. Nach Untersuchungen von Walter et al. (1979) stieg die Biegefestigkeit zwischen 0,58 mm und 0,25 mm dicken Spänen bei einer Plattenrohdichte von 650 kg/m³ um 36 % und bei 750 kg/m³ nochmals um 24 % an. Auch die Holzart spielt bezüglich der Spanqualität eine entscheidende Rolle. Am besten eignen sich Hölzer mit gleichmässiger Struktur wie z.B. Zitterpappel, Weide, Erle, Bergahorn und Fichte. Grobporige Hölzer sowie Hölzer mit grossen Rohdichteunterschieden zwischen Früh- und Spätholz wie Kiefer neigen zum Zerfallen nach der Zerspanung (Brinkmann 1979). Trotzdem dominiert die Kiefer derzeit als Rohstoff. Da diese Holzart jedoch auch von einem sinkenden Vorrat betroffen ist, ist man seit einiger Zeit bemüht Lösungen aus geringwertigem Küstentannen- und auch Buchenholz zu entwickeln. Nach Thole (2008) sind OSB der Klasse 4 aus Küstentanne ohne weiteres möglich. Die OSB aus Buche entsprach immerhin den Anforderung in Biege- und Querzugfestigkeit dem Plattentyp 3 für tragende Zwecke im Feuchtbereich. Der Grund für die ungleichen Qualitäten ist auf die unterschiedlichen Rohdichten beider Holzarten zurückzuführen. Aufgrund einer geringeren Rohdichte der Küstentanne von 430 kg/m³ verlangt eine OSB der gleichen Plattenrohdichte mehr Strands als eine OSB aus Buche mit 720 kg/m³. Weniger Strands bedeuten dagegen einen grösseren zwischenpartikulären Porenraum, der wiederum die Rohdichteverteilung, die verklebte Strandfläche und das Bruchverhalten beeinflusst. Weiterhin weist Thole darauf hin, dass für bessere Qualitäten und eine effektive Nutzung geringwertiger Sortimente von Buche für die Herstellung von OSB eine Anpassung der derzeitigen Zerspanungstechnik nötig sein wird.

Abb. 5-1: Oberfläche einer OSB (Verena Krackler)

4. LSL (Laminated Strand Lumber, Spanstreifenholz)

Hinter dieser Bezeichnung verbirgt sich ein Spezialprodukt von OSB aus flachen extrem langen Holzspänen (ca. 300 mm) besteht. Je nach Ausrichtung der Späne lassen sich sowohl platten- als auch stabförmige Ausführungen realisieren. Bei stabförmigen Elementen wie Schwellen oder Deckenträger sind die Späne ausschliesslich in Plattenlängsrichtung angeordnet. Für die Verwendung als Plattenwerkstoff wird ein Teil der Späne quer zur Plattenrichtung ausgerichtet, womit die mechanischen Eigenschaften in Längs-und Querrichtung etwas angeglichen werden.

Abb. 5-2: Spanstreifenholz (dataholz)

5. OSL (Oriented Strand Lumber)

OSL setzt sich aus flachen, ähnlich dem OSB langen Holzspänen zusammen, weist jedoch keine quergerichteten Späne und damit keine Mittelschicht auf. Damit lassen sich nicht nur platten-, sondern auch stabförmige Ausführungen wie Balken realisieren, da die Späne in grösseren Dicken verklebt werden können. Wie der Name Constructive Strand Lumber schon verrät kann der Werkstoff im tragenden Bereich (Dächer, Fussböden, Wände), für statische Elemente (z.B. im Verpackungsbereich) oder höher belastete Böden im Bau und Fahrzeugbau sowie im Gerüstbau eingesetzt werden. Bestehend aus Laubholz würde OSL genauso wie LSL eine kostengünstige Variante für Anwendungen im Holzbau bedeuten, der sich ohne grosse Schwierigkeiten industriell herstellen liesse.

5.1.2 Faserwerkstoffe

Dieser Kategorie werden alle aus Holzfasern bestehenden Werkstoffe zugeordnet. Darunter fallen die unterschiedlichen Varianten der Holzfaserplatten, Wärmedämmstoffe sowie Holzfaserformteile. Zur Herstellung werden ausschliesslich Industriehölzer, Schwachholz aus Durchforstungen und Restholz aus der Schnittholzproduktion eingesetzt. Für die Aufbereitung der Fasern wird das gelieferte Holz zerkleinert, die Grobanteile mittels Sieben, die Eisenanteile mittels Magnetabscheidern entfernt und die Hackschnitzel gewaschen. Durch das anschliessende Dämpfen bei ca. 180 °C wird das Lignin plastifiziert, wodurch das Zerfaserungsaggregat die Hackschnitzel genau in den Bereichen zu Fasern trennt, wo die höchste Ligninkonzentration vorliegt; an der Mittellamelle. Die Faser bleibt damit weitgehend unbeschädigt.

1. Faserplatten

Grundsätzliches: Mit 534.000 m³ wiesen Faserplatten im Jahre 2007 in der Schweiz nach den Spanplatten die zweithöchste Produktionsmenge unter den Holzwerkstoffen auf. Nach der DIN EN 316 (2009) sind Holzfaserplatten (oder kurz auch Faserplatten) plattenförmige Werkstoffe mit einer Nenndicke von 1,5 mm und grösser, die unter Anwendung von Druck und/oder Hitze aus Lignocellulosefasern hergestellt werden. Verwendungsgebiete sind u.a im Karosserie-, Möbel- und Innenausbau zu finden. Für die Schall- und Wärmedämmung werden poröse Faserplatten eingesetzt. Die Bindung der Fasern wird entweder über deren Verfilzung aufgrund eigener Verklebungseigenschaften oder durch die Zugabe eines synthetischen Bindemittels erzielt. Es existieren drei verschiedene Herstellungsverfahren – das Nass-, das Trocken- und das Halbtrockenverfahren. Das Trockenverfahren beruht im Wesentlichen auf der Herstellung unter Druck und Hitze unter Zugabe eines synthetischen Bindemittels, wohingegen beim Nassverfahren die Bindung über Wasserstoffbrücken und van-der-Waals-Kräfte erfolgt. Das Halbtrockenverfahren ist eine Kombination aus beiden. Aufgrund höherer Produktionskosten durch die Abwasseraufbereitung sowie einer stärkeren Umweltbelastung, wird das Nassverfahren heutzutage nur noch begrenzt eingesetzt. Es werden nach DIN EN 316 (2009) folgende Plattentypen unterschieden:

Platten nach dem Trockenverfahren:

- Mitteldichten Faserplatten (MDF), Hochdichte Faserplatten (HDF)

Platten nach dem Nassverfahren:

- Harte Platten (HB) mit einer Dichte ≥ 900 kg/ m³
- Mittelharte Platten (MB) mit einer Dichte ≥ 400 bis < 900 kg/ m³, dazu zählen:
  → Mittelharte Platten geringer Dichte (MBL, Dichte ≥ 400 bis < 560 kg/ m³)
  → Mittelharte Platten hoher Dichte (MBH, Dichte ≥ 560 bis < 900 kg/ m³)
- Poröse Platten (SB) mit einer Dichte ≥ 230 bis < 400 kg/ m³ mit thermischen und akustischen Dämmeigenschaften

Alle Platten können noch mit zusätzlichen Eigenschaften, wie z.B. Feuerschutz, Feuchtebeständigkeit, Beständigkeit gegen biologischen Befall ausgestattet werden.

Generell lassen sich sowohl Nadel- als auch Laubholz zu Faserplatten verarbeiten. Fasern sind Holzellen bestehend aus Zellwand und Zellumen, die sich hauptsächlich aus den chemischen Bestandteilen Cellulose, Hemicellulose und Lignin zusammensetzen. Deren Anteile sind von Holzart zu Holzart und vor allem zwischen Nadel-und Laubholz unterschiedlich. Daher sind Kenntnisse über den Aufbau und dessen Einfluss auf das

Endprodukt besonders wichtig. Als massgebliche Faktoren auf die Qualität und das Verfilzungsverhalten und damit auf die Festigkeitseigenschaften einer Faserplatte nennt Lampert (1967):

1. den technisch brauchbaren Faseranteil: Dieser wirkt sich besonders auf die Ausbeute aus, kann jedoch stark zwischen verschiedenen Pflanzengattungen bzw. Nadel- und Laubholz variieren. Nadelholz hat im Durchschnitt einen Faseranteil von 91 bis 95 %, Laubholz dagegen nur ca. 66 %. Die restlichen Nichtfaseranteile wie Parenchym oder Gefässe dienen zwar als Füllstoff, können sich jedoch bei zu grosser Menge ungünstig auf den technologischen Prozess und das Endprodukt auswirken.

2. die geometrischen Struktur der Zellelemente und Fasern, Oberfläche und Grösse der Fasern nach der Zerfaserung: Vliesbildungs- und Verdichtungsverhalten wird vor allem von der Länge, Dicke, Oberfläche, Zellwanddicke und Festigkeit der Fasern und dem angewendeten Verfahren bestimmt. Im Nassverfahren begünstigt eine schlanke, krümmungsfähige Faser mit einer rauen Oberfläche, wie sie Nadelhölzer meist aufweisen, die Verfilzung. Diese Verfilzung wäre im Trockenverfahren nachteilhaft, da die Fasern während der Wirbelung im Luftstrom zu schnell verhaken und somit kein gleichmässiges Vlies bilden würden, was für die Verwendung von kurzen, glatten und dünnen Fasern gleich denen von einigen Laubhölzern spricht. Die Zellwanddicke entscheidet zudem massgebend über die Enddichte einer Platte. Da dünnwandige Fasern meist grosse Porenvolumen aufweisen, lassen sie sich gut zusammendrücken und bilden breite sich überlagernde Haftflächen, was zu sehr dichten Platten führen kann. Bei dickwandigen Fasern ist diese Schichtung nicht möglich.

3. den chemischen Aufbau: Cellulose besteht im Wesentlichen aus einzelnen Glucosemolekülen, die über glykosidische Bindungen kettenförmig verbunden sind. Diese Anordnung macht das Holz sehr zugfest in Richtung des Faserverlaufs. Ziel bei der Faserplattenherstellung ist es, diese Cellulose-Ketten so wenig wie möglich anzugreifen, um die Zugfestigkeit zu wahren. Lignin verleiht dem Holz seine Druckfestigkeit und dient als wasserabweisender Bestandteil, in den die Cellulose eingebettet ist. Durch hydrothermische Vorgänge während des Herstellungsprozesses von Faserplatten kommt es allerdings zu Veränderungen und Spaltungen des Lignin-Cellulose-Verbandes. Dem kann durch eine schwache Hydrolyse des Lignins zu Aktivlignin entgegen gewirkt werden, was mit Furforal zu einem Harz kondensieren kann. In richtiger Menge wird die Druckfestigkeit erhöht, das Quellvermögen gemindert. Grundsätzlich steigt mit höherem Ligningehalt die Rohdichte der Platte. Die Hemicellulosen, ebenfalls Verkittungssubstanz, können je nach Kettenlänge ebenfalls verklebend wirken und damit die Festigkeit erhöhen. Besonders die Glucomannane, welche in Nadelhölzern in grösseren Mengen vorkommen als in Laubhölzer, haben diese Fähigkeit. Grundsätzlich überwiegt allerdings der negative Einfluss auf das Quell- und Schwindverhalten, da die Hemicellulosen aufgrund ihres Aufbaus stark hydrophil (=wasseranziehend) sind.

Tabelle 5-2 stellt den Anteil, die Beschaffenheit, die chemische Zusammensetzung der Fasern sowie die Rohdichte einiger wichtiger Nadel- und Laubhölzer dar. Anhand dieser Tabelle ist es möglich die Eignung einer Holzart entsprechend der technologischen Verfahren zu beurteilen.

Tab. 5-2: Anteil, Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung der Fasern einiger wichtiger Nadel- und Laubhölzer (Trendelenburg und Mayer-Wegelin 1955; Lampert 1967; Wagenführ und Scheiber 1974; Autorenkollektiv 1975; Sell und Holz 1997)

Holzart	Rohdichte [kg/m³]	Faserart	Faser-anteil [%]	Geometrische Struktur, Grösse und Oberfläche					Chemische Zusammensetzung [%]		
				Abmessungen der Fasern		Mittlere Schlankheit l/d	mittlere Zellwand-dicke [µm]		Cellu-lose	Lignin	Hemi-cellulose
				Länge l [mm]	Durchmesser d [µm]		Frühholz	Spätholz			
Fichte	430…470	Tracheiden	93 - 95	1,30…2,80…4,30	21…31…40	90	1,75	5,35	durchschnittlich		
Kiefer	460…510		91 – 95	1,80…3,10…4,50	14…35…46	89	3,35	6,50			
Tanne	430…480		91 – 94	3,40…4,30…4,60	18…38…58	115	1,85	4,50	43	30	20
Charakterisierung	- geringe Rohdichte → geringe Raumdichte→ höherer Holzverbrauch → geringere Ausbeute - hohe Rohdichte→ hohe Raumdichte→ geringerer Holzverbrauch → höhere Ausbeute	hoher nutzbarer Faseranteil → gute Ausbeute		- lange, schlanke, krümmungsfähige Fasern→ schnelles Verfilzen→ geeignet für Nassverfahren - Frühholzfasern: dünnwandig, weitlumig→ schlank, zusammendrückbar→ gute Verdichtung, Ausbild. vieler platter Haft- und Klebeflächen - Spätholzfasern: dickwandig, englumig→ schlecht zusammendrückbar→ schlechtere Verdichtung					- hoher Ligninanteil→ gute Druckfestigkeit, geringeres Quellen - geringer Hemicelluloseanteil → geringeres Quellen und weniger Verklebungseffekt		
		Geringerer nutzbarer Faseranteil→ geringere Ausbeute		- überwiegend kurze, dünne, glatte Fasern→ geringeres Verfilzen→ geeignet für Trockenverfahren - variierende Zellwanddicken innerhalb einer Holzart aufgrund differenzierteren Aufbaus					- geringer Ligninanteil→ geringere Druckfestigkeiten, höheres Quellen - hoher Hemicelluloseanteil→ höheres Quellen, Verklebungseffekt		
Rotbuche	700…790	Libriformfasern und Fasertracheiden	37	0,60…1,30	16…22	50	1,80…3,75…5,15		durchschnittlich		
Birke	610…680		65	0,34…1,60…1,70	14…40	59	2,10…2,65…3,35				
Eiche	650…760		58	0,28…0,88…1,60	10…30	44	1,95…2,10…2,65		43	20	30
Pappel	400…450		59	0,30…1,30…2,10	20…44	41	2,40…3,45…4,75				

***Forschung*:** Lampert (1967) berichtet, dass aufgrund einer intensiven Nutzung des Nadelholzes und eines damit einhergehenden Holzmangels schon Mitte des 20. Jhd. Laubholz für Faserplatten eingesetzt wurde. Diese erzielten hinsichtlich ihrer Eigenschaften gute Ergebnisse und wurden daher nach und nach verstärkt genutzt. Wie bereits erwähnt eignen sich **Laubholzfasern besser für das Trockenverfahren**. Vorteil dieses Verfahrens ist zudem die Möglichkeit mehrschichtige Platten herstellen zu können, wobei die einzelnen Schichten aus verschiedenen Holzarten bestehen können (Autorenkollektiv 1975). Überwiegend wurden jedoch für beide Verfahren Gemische aus Nadel- und Laubholz eingesetzt, da dies am wirtschaftlichsten war.

Mittlerweile hat sich die Produktion wieder zuungunsten von Laubholz verlagert. Faserplatten werden zum grössten Teil aus Nadelholz hergestellt. Zur Resteverwertung würden sich Laubhölzer für Faserplatten jedoch ideal anbieten, da als Rohstoffe Waldindustrie-, Durchforstungs-, Schwach- und Industrieholz verarbeitet werden können. Das würde auch der angestrebten Kaskadennutzung entsprechen, da diese Laubholzsortimente im Moment vornehmlich energetisch genutzt werden. Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung ist die Anpassung technologischer Paramter resultierend aus der abweichenden Anatomie und chemischen Zusammensetzung der Laubhölzer. Die kürzeren Fasern erfordern eine Anpassung der Presstechnologie, da die höhere Schüttdichte der Faservliese zu einem anderen Verdichtungs- und Entgasungsverhalten führt. Weiterhin verändern bereits kleine Laubholzanteile den pH-Wert und somit die Pufferkapazität des Faserstoffes, wodurch teilweise die Aushärtung des Bindemittels unerwünscht beschleunigt bzw. verzögert wird (Buchholzer 1995). Kehr (1995) untersuchte die Eignung von Pappelholz und Baumweide für die Herstellung von MDF. In seine Untersuchungen bezog Kehr verschiedene Pappelarten verschiedener Herkunft und unterschiedlichen Alters ein. Als Klebstoff diente der industriell übliche Harnstoff-Formaldehyd (UF)- Harz. Insgesamt erreichten die Faserplatten gute Eigenschaften, besonders eignet sich Pappel für die Herstellung von MDF mit reduzierter Rohdichte im Bereich von 650 bis 700 kg/m³. Mit Graupappel liessen sich UF-Har-gebundene MDF-Platten herstellen, deren Dickenquellungswert nach 24 Stunden unter 8 % und damit im Normbereich war. Diese positiven Ergebnisse konnten in Folgeuntersuchungen bestätigt werden. Reine MDF-Platten aus Pappel erreichten die für HDF und MDF notwendigen Festigkeiten und wiesen sehr niedrige Werte für die Dickenquellung auf, welche sogar niedriger waren, als die Referenzen aus Kiefer (Knust et al. 2008). Krug und Mäbert (2007) untersuchten MDF und HDF aus Pappel, Buche, Eiche und Birke bestehend zu 100 % aus Laubholz oder zu 50 % mit Kiefer gemischt. An den Platten erfolgte die Bestimmung der physikalischen, hygrischen und chemischen Eigenschaften, deren Ergebnisse im Folgenden tabellarisch aufgeführt werden. In der Zeile Anmerkung kann abgelesen werden, inwieweit die Werte den Anforderungen nach DIN EN 622-5 (2010) entsprachen.

Tab. 5-3: Faserstoff- und Platteneigenschaften von HDF und MDF aus Kiefer, Buche, Eiche, Pappel und Birke nach Untersuchungen von Krug und Mäbert (2007) mit steigenden Werten von links nach rechts

Eigenschaft							
Faser-stoff	Faserlänge [mm], ohne Werte		Buche	Eiche	Kiefer	Pappel	Birke
	Schüttdichte [kg/m³]		Kiefer	Birke	Pappel	Eiche	Buche
			17	20	22	40	45
		Anmerkung	Angleichen der Faserlängen und Schüttdichten durch vorheriges Mischen der Laubholzhackschnitzel mit Hackschnitzel aus Kiefer				
	pH-Wert [ ]		Eiche	Buche	Birke	Kiefer	Pappel
			3,6	3,7	3,9	4,0	4,9
Platte	Rohdichte [kg/m³]	MDF	Eiche	Pappel	Birke	Buche	Kiefer
			720	730	735	740	745
		HDF	Eiche	Pappel	Kiefer	Buche	Birke
			860	865	865	895	910
	Dickenquellung [%],	MDF	Pappel	Eiche	Kiefer	Birke	Buche
	ohne Werte	HDF	Pappel	Kiefer	Eiche	Birke	Buche
		Anmerkung	alle Werte entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, MDF aus Pappel, Eiche, Kiefer, Birke sowie alle HDF-Varianten auch Typ MDF.H* und Typ MDF.LA*				
	Querzugfestigkeit	MDF	Birke	Buche	Pappel	Eiche	Kiefer
		Anmerkung	alle Werte entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, MDF aus Buche, Pappel, Eiche und Kiefer auch Typ MDF.LA*, MDF aus Pappel, Eiche und Kiefer auch TYP MDF.H*				
	[N/mm²], ohne Werte	HDF	Pappel	Eiche	Kiefer	Birke	Buche
		Anmerkung	alle Werte entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, Typ MDF.H* und Typ MDF.LA*				
	Biegefestigkeit	MDF	Eiche	Birke	Buche	Pappel	Kiefer
	[N/mm²]		23,3	33,9	34,4	34,5	40,1
		Anmerkung	alle Werte, ausser MDF Eiche, entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, Typ MDF.H* und Typ MDF.LA*				
		HDF	Eiche	Buche	Pappel	Birke	Buche
			30,9	42,0	45,2	46,7	51,8
		Anmerkung	alle Werte entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, Typ MDF.H* und Typ MDF.LA*				
	Biege-E-Modul	MDF	Eiche	Pappel	Birke	Buche	Kiefer
	[N/mm²]		2752	3235	3535	3573	3680
		HDF	Eiche	Pappel	Buche	Birke	Kiefer
			3111	3899	3960	4258	4332
		Anmerkung	alle Werte entsprechen den Normanforderungen Typ MDF*, Typ MDF.H* und Typ MDF. LA*				
	Formaldehydgehalt	MDF	Eiche	Pappel	Buche	Birke	Kiefer
	[mg HCHO/100g atro Platte]		11,5	11,8	12,0	13,4	14,3

Typ MDF= allgemeine Zwecke im Trockenbereich; Dickenquellung< 8%, Querzugfestigkeit≥ 0,55 N/mm², Biegefestigkeit≥ 20 N/mm², Biege-E-Modul≥ 2200 N/mm²

Typ MDF.H= allgemeine Zwecke im Feuchtbereich; Dickenquellung< 8%, Querzugfestigkeit ≥ 0,75 N/mm², Biegefestigkeit≥ 24 N/mm², Biege-E-Modul≥ 2400 N/mm

Typ MDF.LA= tragende Zwecke im Feuchtbereich; Dickenquellung< 12%, Querzugfestigkeit ≥ 0,60 N/mm², Biegefestigkeit≥ 25 N/mm², Biege-E-Modul≥ 2500 N/mm²

Aus den Werten geht hervor, dass die Herstellung von normgerechten MDF-und HDF-Platten aus Laubhölzern möglich ist. Nicht in der Tabelle aufgeführt, aber ebenso denkbar, sind Mischungen mit Kiefernholz. Die Auswirkungen holzartenbedingter Eigenschaften wurden

dadurch kompensiert, wodurch vor allem die Biegefestigkeit und der Biege-E-Modul erhöht werden konnten.

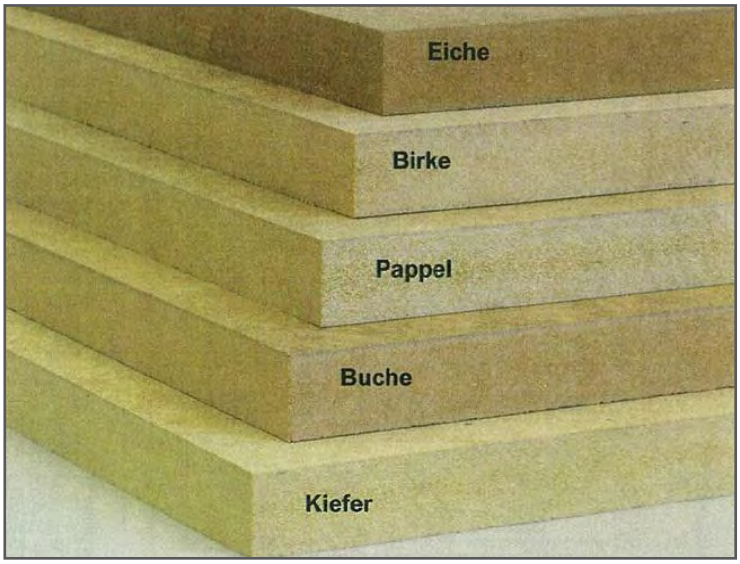


Abb. 5-3: MDF aus verschiedenen Laubholzfaserstoffen (Krug und Mäbert 2007)

2. Holzfaserdämmstoffe

Grundsätzliches: Basis der Holzfaserdämmstoffe, gelegentlich auch Holzweichfaserplatte oder Weichholzfaserplatte genannt, sind wie bei allen Holzfaserplatten Fasern. Dämmstoffe aus Holzfasern können verschiedene Erscheinungsformen aufweisen. Die gebräuchlichste ist die Holzfaserdämmplatte. Des Weiteren werden die Fasern auch in Form von Matten, Rollen, Formstücken oder lose als Einblasdämmung eingesetzt. Hauptsächlich dienen sie dem Wärme- und Schallschutz, müssen unter Umständen auch Anforderungen des Brand-, Holz- und Feuchteschutzes erfüllen. Der Holzfaseranteil beträgt ca. 85 %, die Herstellung erfolgt im Nass- und Trockenverfahren unter ggf. der Zugabe von Binde- und/oder Zusatzmitteln. Die Produktion nach dem Trockenverfahren ähnelt einer Faserplattenanlage (z.B. MDF), Unterschiede ergeben sich im Pressverfahren. Vorteil des Trockenverfahrens ist die Realisierung geringer Dichten zwischen 45 kg/m³ und 200 kg/m³ sowie Dicken von 5 mm bis 200 mm.

Abb. 5-4: Holzfaserdämmstoff der Marke STEICOflex (www.flickr.com)

Die Anwendungsgebiete erstrecken sich von der Dach- und Wanddämmung (Aussenwände, Trennwände, Wärmedämmverbundsysteme) über die Dämmung des Bodens und der Decke (Luft- und Trittschalldämmung, Wärmeschutz von Geschossdecken und Bodenplatten) bis hin zu Einsätzen im Fahrzeugbau. Wie Spanplatten können auch Holzfaserdämmstoffplatten mit Gips, Zement oder Magnesit als organisch gebundenen Platten ausgestattet werden. Folgende Darstellung gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten im Holzbau.

1 Unterdeckungen
2 Aufsparrendämmung
3 Zwischensparren- und Untersparrendämmung
4 Wärmedämmverbundsysteme
5 Dämmung von Aussenwänden mit Vorhangfassade
6 Dämmung von leichten Trennwänden
7 Luft- und Trittschalldämmung von Decken in Holzbauweise
8 Wärmeschutz von Geschossdecken und Bodenplatten in Massivbauweise

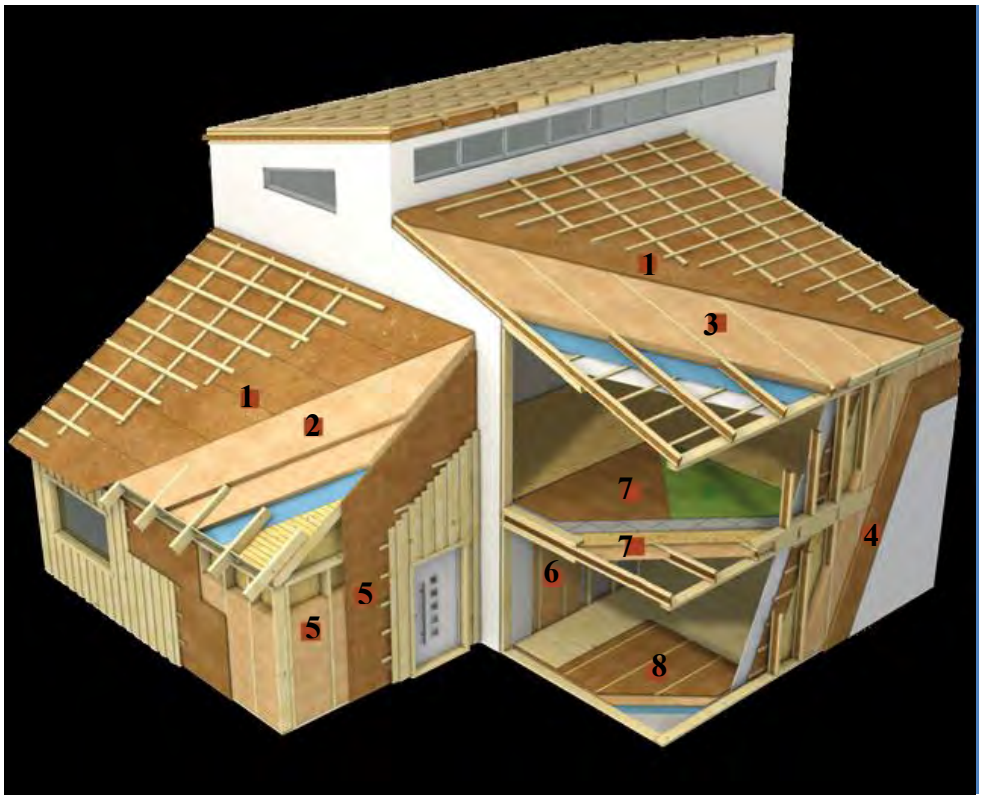


Abb. 5-5: Anwendungsübersicht von Holzfaserdämmplatten im Holzbau (Informationsdienst 2007)

Das Eigenschaftsprofil einer Holzfaserdämmplatte wird neben dem Bindemittel und dem Verfahren im Wesentlichen durch die Auswahl der Fasermaterialien bestimmt. Entscheidendes Kriterium ist wie bei den Faserplatten die Grösse und geometrische Struktur der Fasern. Kurze Fasern besitzen wenig Porenraum und verlangen einen hohen Bindemittelanteil, was zum Herabsetzen der Isoliereigenschaften führt. Ausserdem ist der Materialeinsatz höher. Auch durch zu viele lange und dicke Fasern isoliert der Dämmstoff schlechter, da die einzelnen Poren so gross sind, dass es innerhalb der Fasern zu Wärmeströmungen kommen kann (Hoppe 2005). Eine optimale Dämmung enthält daher einen ausgewogenen Mix aus kurzen, langen, dünnen und dicken Fasern mit ausreichender Festigkeit, geringer Dichte und guter Wärmeleitfähigkeit. Üblicher Rohstoff sind bisher Nadelhölzer, da sie aufgrund ihrer Faserstruktur Platten ergeben, die im Verhältnis zur Rohdichte eine hohe Festigkeit aufweisen. Wie bei den Faserplatten kann Schwachholz als Fasergrundlage dienen. Laubschwachholz würde sich demnach ideal dafür anbieten, da eine hochwertige, stoffliche Nutzung des Sortimentes damit verbunden ist.

Forschung: Da Faserplatten auch aus Laubholz hergestellt werden können (Lampert 1967; Autorenkollektiv 1975; Krug und Mäbert 2007) und der Herstellungsprozess ähnlich denen von Faserdämmstoffen ist, ist davon auszugehen, dass auch Laubhölzer für Faserdämmstoffe geeignet sind. Wichtig für einen qualitativ hochwertigen Dämmstoff ist die Auswahl geeigneter Hölzer, aus denen sich Fasern produzieren lassen, die den Anforderungen gerecht werden. Wie schon beschrieben, ist vor allem ein Mix aus unterschiedlich geformten Fasern entscheidend. Von daher sind Mischungen verschiedener Holzsorten nicht auszuschliessen. Neuere Untersuchungen (Bartholme et al. 2009) bestätigen den Einsatz von Fasern aus Buchenholz für organisch gebundene Holzfaserdämmplatten hergestellt im sonst für Nadelholzfasern üblichen Nassverfahren. Der nachteiligen Fasergeometrie des Buchenholzes (kurz, woraus sich schlechtere Verzahnungseigenschaften ergeben) wurde mit der Zugabe von Kartoffelpülpe als Bindemittel entgegengewirkt. Kartoffelpülpe, ein Abfallprodukt der Kartoffelstärkeproduktion, zeichnet sich aufgrund eines Stärkegehaltes von 30 % durch gute Bindungseigenschaften aus. Den Platten wurde für die Untersuchungen 10 % Kartoffelpülpe beigemischet. Im Gegensatz zu reinen Buchenholzfaserdämmstoffplatten, zeichneten sich die Platten mit Kartoffelpülpe durch eine feste Struktur, gute Säge- und Schleifeigenschaften sowie Festigkeiten vergleichbar mit industriell hergestellten Dämmstoffplatten aus Nadelholz aus. Allein die Wärmeleitfähigkeit war mit Werten zwischen 0,066 und 0,067 W/mK etwas höher als der übliche Bemessungswert von 0,39 W/mK bis 0,045 W/mK (Informationsdienst 2007).

3. Holzfaserformteile

Holzfaserformteile werden in einem zweiteiligen Prozess erzeugt. Nach der Herstellung der lagerungsfähigen Fasermatte erfolgt die Umformung und Verdichtung unter Druck und Temperatur in die gewünschte Form. Oftmals werden Holzfasern genutzt, um Kunststoffe zu verstärken. Diese so genannten naturfaserverstärkten Kunststoffe (NFK) zeichnen sich durch hohe Festigkeiten und Steifigkeiten bei gleichzeitig geringer Dichte aus. Grosser Vorteil der Anwendung ist die Nutzung der im Gegensatz zur Holzverarbeitung schnell laufenden Extrusions- und Spritzgussmaschinen der Kunststoffindustrie. Da sie sehr leicht und trotzdem mechanisch stark belastbar sind, sind sie idealer Werkstoff für den LKW- und Automobilbau zur Tür- und Innenraumverkleidung oder für Hutablagen. Der Anteil an Holzfasern in diesem Verbundwerkstoff ist mit 70 % relativ hoch. Geeignet ist sowohl Nadel- als auch Laubholz, wobei jedoch im Moment Rohstoffe aus Nadelholz noch einen grösseren Anteil einnehmen. Als Verwertungsoption würde sich NFK aus Laubholzfasern anbieten, da gerade in der Automobilindustrie beträchtliche Mengen verarbeitet werden. Im Jahre 2005 setzte z.B. Deutschland 27.000 Tonnen Holzfasern zur Herstellung von NFK ein (Carus et al. 2008).

4. Wood-Plastic-Composites (WPC)

Wood-Plastic-Composites (WPC) sind thermoplastisch verarbeitete Verbundwerkstoffe, in denen Holzfasern oder auch –mehl mit einem Kunststoff unter der Zugabe von Additiven vereint werden. In der Verarbeitung und dem Aufbau ähneln sie sehr den NFKs. Es entsteht ein Werkstoff mit holzähnlicher Optik und zum Teil vorteilhafteren Eigenschaften als ein reiner Kunststoff. Die Produktion von WPC startete zu Beginn der 90er Jahre in Nordamerika und verzeichnete seitdem eine rasante Entwicklung. Bereits im Jahre 2005 wurden am nordamerikanischen Markt ca. 700.000 t WPC abgesetzt, was gegenüber 2003 eine Steigerung um 100.000 t bedeutete (Vogt et al. 2006). Hauptanwendungszweck sind mit 70 % Terrassendielen. Mit beinah 30 % wird WPC allerdings auch vermehrt für Zäune, Schallschutzwände, Gartenmöbel, Fassaden und Dächer genutzt. Einen kleinen Bereich stellt zudem der Möbelbau dar. Mit einem Anteil von 5 %– 90 % fungieren die Holzfasern neben

dem Kunststoff als Hauptbestandteil des Produktes. Fasern besitzen den entscheidenden Vorteil, dass sie nicht nur wie Holzmehl als Füllstoff, sondern auch als festigkeitsgebende Komponente dienen. In der Wahl der Holzart sind die Produzenten relativ frei, da nicht nur Nadelhölzer, sondern ohne Probleme auch Laubhölzer eingesetzt werden können. Als Holzsortimente eignen sich Schwachholzsortimente sowie sämtliche Sägenebenprodukte aus der Schnittholzproduktion. Das Absatzvolumen von WPC steigt stetig, wobei vor allem im deutschsprachigen Raum Europas (Schweiz, Deutschland und Österreich) mit steigenden Tendenzen gerechnet wird (Vogt et al. 2006).

5.1.3 Leichtbauwerkstoffe

Leichtbauwerkstoffe werden zwar schon auf unterschiedliche Art und Weise eingesetzt, verzeichnen jedoch noch immer einen Aufwärtstrend. Sie zeichnen sich entweder durch geringere Rohdichten als die der verwendeten Rohstoffe oder die Nutzung der Struktur der Rohstoffe zur Festigkeitsbildung ohne Rohdichteerhöhung aus, um so Gewicht zu sparen bzw. die Gestalt zu optimieren. Wie ein Leichtbauwerkstoff gestaltet wird, hängt im Wesentlichen vom Anforderungsprofil der Konstruktion oder des Bauteils ab, so dass es ein- und mehrlagige Ausführungen gibt. Mehrlagige Leichtbauwerkstoffe bestehen meist aus einer Mittellage und zwei Decklagen, wobei diese unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Die Decklage muss überwiegend die an eine Oberfläche gestellten Anforderungen wie Beständigkeit gegenüber Feuchte, Abrieb und Feuer, Schutz der Mittellage sowie Aufnahme von Kräften und dekorative Zwecke erfüllen. Mittellagen dagegen dienen als Abstandhalter, Rohdichtedezimierer und Festigkeitsgeber. Form und Beschaffenheit beider Lagen können auf unterschiedlichste Art und Weise gestaltet werden. Materialien für die Mittellage sind z.B. Natur- und Polymerschäume, Holzleisten, Späne, Papier oder Metall, die wabenartig, stegförmig, als Schaum- oder Faserlage ausgeführt werden. Decklagen bestehen u.a. aus MDF, Furnier, Papier, Laminat, Sperrholz, Blech oder WPC.

Ein übliches Beispiel für die Katagorie sind stranggepresste Röhrenspanplatten als Mittellage für die Türenherstellung. Auf diese Weise wird im Verhältnis gesehen guter Schallschutz bei geringem Gewicht gewährleistet. Eine schon lange bekannte Anwendung ist Sperrholz aus Pappel, Buche oder Birke für den Einsatz im Flugzeugbau. Weiterhin bekannt sind Leicht-MDF und Ultraleicht-MDF mit Dichten unter 650 kg/m³ bzw. 550 kg/m³. Bei der Sandwichbauweise wird erheblich an Gewicht gespart, indem die Dichte reduziert wird. Aufgebaut ist ein Sandwich aus einer relativ dünnen Deckschicht mit hohen Zug- und Druckfestigkeiten sowie einem dicken Kern, der die Decklagen abstützt und druckfest ist. Gerade mit Buche, Esche oder Eiche liessen sich aufgrund deren hoher Festigkeiten Decklagen für stabile Platten fertigen.

Zu finden sind Leichtwerkstoffe im Schiffs-, Messe- und Ladenbau sowie zur Realisierung von Regalen, Küchen, Türen und Verkleidungen. Ihnen wird vor allem für den Möbelbau eine wachsende Bedeutung zugesagt, da sie zu leichten Produkten führen.

5.2 Stoffliche Verwertung neben Holzwerkstoffen

Unter stofflicher Verwertung wird die Nutzung der anfallenden Sägenebenprodukte sowie des nicht einschneidbaren Industrieholzes und deren Verarbeitung zu Produkten unterschiedlichster Art verstanden. Natürlich fallen darunter auch Span- und Faserwerkstoffe. Jedoch existieren daneben noch eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten, bei der das Restholz nicht zu einem eigenständigen Werkstoff verwandelt, sondern mitunter bestimmten Produkten nur beigemengt oder direkt für diverse Zwecke genutzt wird.

5.2.1 Lebensmittelherstellung

1. Anzucht von Speisepilzen

In Asien werden essbare Pilze seit 2000 Jahren auf Holz gezüchtet. Besonders mit dem Shii-take Pilz wird so eine weitere Nahrungsquelle geschaffen. Hierzulande werden auf diese Weise u.a. Champignons, verschiedene Seitlinge, Stockschwämmchen oder Birkenporlinge kultiviert. Früher wurden dazu Ast- und Stammscheiben angebohrt und dem mit entsprechenden Mycel beimpft.

Diese Methode wird jedoch heute nur noch von Hobbyzüchtern angewandt. Für die Produktion grösserer Mengen wird gegenwärtig mit Schüttsubstraten gearbeitet. Diese bestehen aus Sägemehl mit verschiedenen Zuschlagstoffen und befinden sich in Kunststoffsäcken, in denen die entsprechenden Pilze kultiviert werden. Der Durchmesser der Holzpartikel sollte nicht kleiner als 0,85 mm sein, da eine gute Belüftung besonders entscheidend für das Wachstum ist. Vor allem Hartlaubhölzer wie Eiche oder Buche werden genutzt. Das mag daran liegen, dass viele essbare Pilze Weissfäuleerreger sind und damit Laubhölzer bevorzugen. Erst wenige Pilzarten werden kommerziell genutzt, so dass dieser Bereich weiter ausgebaut werden könnte. Neben dem breiteren Pilzangebot und -genuss wäre dies eine Möglichkeit anfallende Sägemehlreste aus Laubholz sinnvoll zu nutzen.

2. Räucherholz

Räuchern ist eine Konservierungsmethode, um Fleisch, Fleischerzeugnisse und Fisch durch die Verschwelung von Hölzern haltbar zu machen. Geeignet sind dafür die Hartlaubhölzer Eiche, Buche, Erle, Ahorn und Wacholder, die in Form von gespaltenem Holz, Säge- und Hobelspänen keimtötend und austrocknend auf das Räuchergut wirken.

Für den Räucherprozess bieten sich für den Hausgebrauch kleinere Räucheröfen oder bei grössere Mengen Räucherschränke oder –kammern an.

Abb. 5-6: Beispiel eines Räucherofens (www.flickr.com)

3. Weinherstellung

Für die Geschmacksgebung und Lagerung von Weinen werde diese in Fässern gelagert, die, neben einigen regionalen Ausnahmen, beinah ausschliesslich aus Eiche sind. Die Geschichte des Weinfasses geht bis in die Keltenzeit zurück, das Weinfass war bis in die Neuzeit hinein nicht nur Lager- sondern auch Transportgefäss. Die Grösse der Fässer reicht von 136 bis zu 1200 Liter. In Europa wird vor allem Trauben- und Stieleiche verwendet, in Nordamerika zudem Weisseiche. Der Weg zu einem guten Fass für aromatische Zwecke ist relativ lang. Die sogenannten Dauben (=Längshölzer, aus denen das Fass zusammengesetzt wird) werden zunächst für 24 – 36 Monate im Freien getrocknet, was neben der leichten Senkung des Extraktstoffgehaltes vor allem zu einer Verstärkung des aromatischen Potentials führt. Anschliessend werden die Dauben „getoastet“ oder geröstet, um zum einen das Holz in die Bogenform zu bringen und zum anderen aromatische Verbindungen freizusetzen. Diese entstehen, da Fragmente des Lignins und der Polysaccharide thermisch abgebaut werden. Zusätzlich zu diesen Verbindungen wirken auch Polyphenole des Holzes, besonders die das Eichenholz auszeichnenden hydrolisierbaren Gerbstoffe, als Geschmacksintensivierer, da der Wein sie dem Fass entzieht. Die Menge an aromatischen Verbindungen kann über die Dauer und Temperatur der thermischen Behandlung gesteuert werden.

Seit einiger Zeit werden für die Aromaentwicklung bestimmter Weine nicht mehr nur Fässer, sondern auch einzelne Dauben, feines Pulver oder Chips aus Eiche verwendet, welche meist Reste der Daubenherstellung sind. Diese werden direkt der Maische oder bereits ausgelaugten Fässern zugegeben. Vorteil dieser Methode ist neben der längeren Nutzungsdauer der Fässer, eine höhere Ausbeute an Wein. 200.000 Liter stehen 3350 Litern Wein gegenüber bei einem Kubikmeter Chips oder fünf Fässern aus der gleichen Menge Holz (Makowski 2003). Grund dafür sind die hohen Qualitätsanforderungen an das Holz und ein aufwendiger Herstellungsprozess. Weiterhin ist die Lagerung mit Chips weniger zeitintensiv und sie sind um ein deutliches günstiger, was sich auch im Flaschenpreis wiederspiegelt. Besonders zweckmässig ist dieses Verfahren für leichte Rotweine, da eine direkte Lagerung im Fass zu einem zu starken Holzgeschmack führen kann. Bei dichten und hochwertigen Weinen dagegen eignet sich hervorragend der herkömmliche Weg, da nur diese den hohen Gerbstoffanteil vertragen, so dass diese Tradition keine Gefahr läuft auszusterben.

Eine Schweizer Firma, die noch Eichenfässer produziert ist die Küferei Suppiger GmbH in Küssnacht am Rigi, die ausschliesslich Holz aus Schweizer Wäldern einsetzt. Hochwertige Eichenchips werden u.a. von dem deutschen Unternehmen J. Rettenmaier & Söhne GmbH+CO.KG aus Stieleichen höchster Qualität vertrieben. Die Weinproduktion stellt auf jeden Fall eine Möglichkeit der Eichennutzung dar, jedoch nur für kleine, hochwertige Sortimente und ist daher nicht für die Resteverwertung geeignet.

5.2.2 Verwendung als Filtermaterial

Sägespäne und Sägemehl können mitunter im Umweltschutz eingesetzt werden, um Materialien zu kompostieren oder zu filtern. Zur Kompostierung von Klärschlamm dienen Holzreste als Strukturmaterial. Mit durch Bernsteinsäure verestertem Fichtenmehl war es nach der Aktivierung mit Natriumhydrogencarbonat möglich, Cadmium aus dem Wasser zu entfernen. (Marchetti et al. 2000). Šćiban und Klašnja (2004) untersuchten das Potential von Pappel- Weiden-, Tannen-, Eichen- und Robinienholzmehl zum Entfernen von toxischen Schwermetallionen aus wässrigen Lösungen. Alle Holzarten erwiesen sich als geeignet, allerdings zeigten Eiche und Robinie eine höhere Filterrate als die restlichen drei. Sie konnten die untersuchten Schwermetalle in folgender Reihenfolge adsorbieren: Kupfer > Nickel > Zink > Cadmium.

5.2.3 Werkstoffe aus Holzmehl und Holzspänen

1. Zuschlagstoff zu Kunststoffprodukten

Hauptgrund für die Zugabe von Zuschlagstoffen ist das Herabsetzen der Herstellungskosten, da die Kunststoffe mit einem günstigeren Rohstoff gestreckt werden können. Als sogenannte Füllmittel dienen Calziumcarbonat (Kalk), Kohlenstoffe (Grafit, Russ), Silikate (Feldspat, Talk) oder auch Holzmehl. Es ist keine Neuheit, Füllstoffe in Kunststoffen zu verwenden, allerdings ist Holzmehl im Gegensatz zu den drei restlich genannten eine kostengünstigere Alternative, die zudem aus nachwachsenden Rohstoffen stammt und als Nebenprodukt in der holzverarbeitenden Industrie anfällt. Unterschied zu WPC (Wood-Platic-Composites) ist, dass hier mittlerweile vorherrschend Holzfasern eingesetzt werden, die nicht mehr nur eine Füllfunktion erfüllen, sondern den Kunststoff verstärken und damit ein eigenes Produkt bilden. Zudem wird in WPCs (Wood-Plastic-Composites) meist mit höheren Holzanteilen gearbeitet, kann in Kunststoffen jedoch auch einen Anteil bis 70 % ausmachen. Erste Kunststoffe mit Holzmehl gehen auf das Jahr 1855/56 zurück, als Francois Charles Lepage das Latrysche Holz (oder auch Bois Durci genannt) erfand, was mit Holzmehl und weiteren Zuschlagstoffen vermengtes Blut-Albumin von Tieren ist und unter Hitze und Druck in Formen gepresst wird. Bald darauf folgten weitere Kunststoffe wie das Celluloid (1869), Galalith (1899), Bakelit (1907), Nylon, Perlon, Polystyrol, Teflon und schliesslich 1956 Polyethylen und Polypropylen.

Viele von den genannten Kunststoffen werden heute noch gefertigt. Selbst Bakelit, der erstmalig industriell hergestellte duromere Kunststoff auf der Basis von Phenolharz, wird heute noch in der Elektroindustrie für Leiterplatten oder thermisch und mechanisch hoch belastete Bauteile wie Schleifkörper und Bremsbeläge eingesetzt. Der damalige Erfinder Leo Hendrik Baekeland setzte von Anfang an Sägemehl als Füllmittel ein. Meist werden Nadelhölzer oder Pappel eingesetzt, für dunkel gefärbte Bakeliterzeugnisse eignet sich besonders Buchenholzmehl (Vorreiter 1960).

Abb. 5-7: Telefon aus Bakelit (www.flickr.com)

2. Linoleum

Linoleum ist ein Bodenbelag, mit dem die verschiedensten Oberflächenmuster simuliert werden können. Die Erfindung aus dem Jahre 1860 geht auf den englischen Chemiker Frederick Walton zurück, der den Namen aus den beiden lateinischen Begriffen linum „Lein“ und oleum „Öl“ ableitete und damit auf einen der wichtigsten Grundstoffe hinwies (Leinöl). Beeindruckend an diesem Produkt ist, dass es ausschliesslich aus reinen Naturstoffen besteht. Neben Leinenöl, heutzutage ersatzweise auch Sojaöl, setzt sich Linoleum aus Naturharzen (Kolophonium, Copal und ersatzweise Dammar), Kalksteinpulver, Titan(IV)-oxid als

Weisspigment, Farbstoffen, Jutegewebe als Trägerschicht sowie Kork- und/oder Holzmehl zusammen. Der Anteil an Holzmehl kann immerhin bis zu 60 % betragen. Etwa 40 % fallen auf das Linoxin und die Harze, die in Form von Linoleumzement als Bindemittel wirken. Das Jutegewebe als Trägermaterial macht gerade einmal 1 % aus. Nachteilig ist der hohe Zeit- und Arbeitsaufwand, da die Herstellung des Bodenbelages in einem mehrstufigen Verfahren erfolgt. Geliefert werden kann Linoleum in Form von Platten oder als Rollen.

Zusammensetzung und die technischen Eigenschaften sind in Europa in der DIN EN 548 (2004) „Elastische Bodenbeläge - Spezifikation für Linoleum mit und ohne Muster“ genormt. In der Schweiz sind Anforderungen zudem in der SIA 253 (2002) „Bodenbeläge aus Linoleum, Kunststoff, Gummi, Kork, Textilien und Holz“ aufgeführt. Linoleum hat viele sehr gute Eigenschaften und ist ideal für das Wohnen mit Kindern geeignet. Hervorragend ist seine Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen und chemischen Beanspruchungen. Weiterhin zeichnen ihn Antistatik, schwere Entflammbarkeit, Zigarettenglut-Beständigkeit, eine leichte pilztötende und bakterienhemmende Wirkung sowie Reinigungsfreundlichkeit aus. Ungeeignet ist er für Bad, WC oder Waschraum, da Linoleum keine ständige Nässe verträgt. Bis in die 1960er Jahre überwog Linoleum unter den elastischen Bodenbelägen. Zu dieser Zeit entfiel die Hälfte des Holzmehlverbrauchs auf dessen Produktion. Ab 1960 wurde er mehr und mehr durch PVC-Beläge verdrängt, erfreut sich in den letzten Jahren jedoch wieder steigender Beliebtheit.

3. Iwood

Iwood ist eine Erfindung der Schweizer Firma innovation wood. Dabei handelt es sich um einen Holzwerkstoff, der aus den Resten der Sägeindustrie gewonnen wird. Sägemehl, Sägespäne und Holzstaub werden mit Wasser und Stärke zu einer Paste, ähnlich einem Brotteig, verrührt. Anschliessend wird diese Holzpaste mit Hilfe von Hefepilzen, Bakterien oder rein mechanisch geschäumt und getrocknet. Ergebnis ist ein poröser Werkstoff mit sehr geringen Dichten um die 250 bis 300 kg/m³, guten Festigkeitswerten und einer Bearbeitbarkeit wie Holz. Eingesetzt werden kann der Werkstoff als statisch beanspruchter Kern einer Holzverbundplatte im Möbel- oder Türenbau oder als ökologisches Dämm- und Füllmaterial. Folgende positive Eigenschaften nennt die Firma für ihr Produkt:

- Herstellung aus Holzstaub und –spänen
- Fertigung als Platte oder Formteil
- Produktion rein biologisch ohne schädliche Zuschlagstoffe
- ohne Leim (und damit Formaldehyd)
- angenehmes Gefühl in den Händen
- Herstellung bereits heute in kleinen Mengen im Labor
- geeignete Einsatzbereiche sind Formteilbau, Möbel- und Hausbau
- Bearbeitung durch Maschinen der Holzverarbeitung möglich
- Leicht, fest, formstabil, gute Wärmedämmeigenschaften
- ökologische Entsorgung bedenkenlos möglich
- Sparen von Ressourcen

Nachteilig ist die nicht vollständig abgeklärte Resistenz gegen biologischen Abbau im Innenklima. Aufbewahrte Iwood-Probekörper wurden an der Berner Fachhochschule, Hochschule für Architektur, Bau und Holz Biel (BFH-AHB Biel), von Insekten befallen und teilweise abgebaut.

Iwood wird derzeit nur in kleinen Mengen im Labormassstab hergestellt. An der Weiterentwicklung von iwood arbeitet die Firma zusammen mit der BFH-AHB Biel, der ETH

Zürich und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil (FAW). Interessant ist iwood vor allem, da es auch problemlos aus Laubholzresten hergestellt werden kann. Nach Angaben der Firma fehlen für einen industriellen Prozess leider noch die Industriepartner und Risikokapitalgeber (Affentranger 2009). Iwood ist ein ideales Beispiel für die angestrebte Kaskadennutzung. Zum einen dient es der sinnvollen Restholzverwertung, aus dem ein ökologischer Werkstoff entsteht, der bis zum Versagen als Baumaterial eingesetzt wird. Zudem kann iwood nach Ablauf der Nutzungsdauer durch ein Wasserbad gelöst und im Gegensatz zu mit Leimen ausgestatteten Holzwerkstoffen zu Brennpellets verarbeitet werden. An Altmöbeln gemessen würde dies eine Einsparung von 90 % Sondermüll bedeuten.

Abb. 5-8: Iwood (Verena Krackler)

4. Celenio

Hinter dem Namen Celenio verbirgt sich ein von der Hamberger Flooring GmbH & Co. KG entwickelter Bodenbelag der besonderen Art. Er wird aus Harolith® gefertigt, ein Gemisch aus 95 % Holzspänen, Kunstharzen und Farbpigmenten. Nach Vermengen der Grundsubstanzen werden unter hohem Druck Bodenfliesen gepresst. Das Besondere an ihnen ist die dreidimensionale Oberfläche in Stein-, Schiffer- und Lederoptik. Auf Nachfrage beim Unternehmen wird für Harolith® im Moment nur Nadelholz eingesetzt, eine etwaige Prüfung der von Laubholz wird jedoch nicht ausgeschlossen (Gathen von der 2009).

5. Weitere Verwendungen

Auf zahlreiche weitere Verwertungsmöglichkeiten von Holzmehl ging vor allem Leopold Vorreiter in seinen beiden Werken „Handbuch für Holzabfallwirtschaft“ (1943) und „Holzmehl - Eigenschaften Erzeugung und Verwendung“ (1960) ein, die er zudem detailliert erläutert. Dazu gehören:

Tab. 5-4: Verwertungsmöglichkeiten für Holzmehl (Vorreiter 1943, 1960)

A - K	L - S	T - W
Aktivkohle	Lignogener Kunststoff	Tapetenstreu
Backstreumittel	Linoleum	Treibstoff
Filterpapier	Leimstreckmittel	Trockenmittel
Füllmittel für Batterien	Papier- und Pappenfüllmittel	Überzug- und Klebmassen
Futterstreckmittel	Plastisches Holz	Verbandstoffe
Holzstein (Xylolith)	**Putz- und Poliermittel**	**Waschseife**
Kehrmittel	*Saugmittel für Spreng- und Zündstoff*	
Kunstharzpressmassen	Schleifscheiben	
Kunstholz		

- Verwertungsoptionen, bei denen Vorreiter Nadelhölzer oder keine Holzart als Rohstoffgrundlage nennt
- *Verwertungsoptionen, bei denen Vorreiter Nadelhölzer und z.T. Laubhölzer (meist Pappel, bei Kunstharzpressmassen unter Umständen auch Buche) als Rohstoffgrundlage nennt*
- **Verwertungsoptionen, bei denen Vorreiter ausschliesslich Hartlaubhölzer als Rohstoffgrundlage nennt**

5.2.4 Holzwolle und Holzwolle-Platten (HWL-Platten)

Die erste Maschine zur Herstellung von Holzwolle wurde 1885 patentiert. Es ist ein Industrieholzprodukt, das aus Rundholzabschnitten und Schwartenstücken gewonnen wird. Das Holz wird dazu in 50 cm lange Stücke abgelängt, entrindet und zur Trocknung mehrere Monate gelagert. Anschliessend schneiden abwechselnd kammförmig angeordnete Messer Rillen in das Holz. Diese Oberfläche wird behobelt, woraus die typischen Fadenspäne entstehen, die in der Breite und Stärke variieren können. In erster Linie wird Fichtenholz, je nach Verwendungszweck auch Kiefer, Pappel oder Linde eingesetzt. Aufgrund seiner Naturbelassenheit eignet sich Holzwolle wunderbar als Verpackungsmaterial. Besonders ISO-zertifizierte Industrie- und Gewerbebetriebe sind verpflichtet, umweltschonende Verpackungsmaterialien zu verwenden und greifen daher vielfach auf Holzwolle zurück. Zweckmässig sind die Späne ausserdem als Anzündhilfe, Unterlage in der Erdbeerernte sowie als Einstreu für Tiere.

Abb. 5-9: Fadenspäne der Holzwolle (www.flickr.com)

Wird die Holzwolle mit Magnesit, Zement oder Gips gebunden, spricht man von Holzwolle-Platten (HWL-Platten), früher Holzwolle-Leichtbauplatten, die zumeist als Dämmstoff zur Wärme- und Schalldämmung eingesetzt werden. Diese kamen erstmalig 1926 in Gebrauch und waren die ersten technisch hergestellten Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, in

denen Holzwolle mit Magnesit gebunden wurde. Später folgten zudem zementgebundene HWL-Platten. Wegen ihres Aussehens werden die Platten oft auch scherzhaft Sauerkrautplatten genannt. Ein weiteres bekanntes Synonym ist Heraklith, hinter dem sich die ehemalige österreichische Firma verbirgt, die seit 2006 zur deutschen Firma Knauf Gips gehört und seit 2007 unter dem gemeinsamen Namen Knauf Insulation GmbH auftreten und solche HWL-Platten in unterschiedlichen Ausführungen anbieten. Enormer Vorteil dieser Platten ist, dass sie keine künstlichen Bindemittel oder Schadstoffe enthalten und somit sehr ökologisch sind. Vor allem in der Schweiz fällt die Nutzung als Deckenplatten ohne Putzauftrag in öffentlichen Gebäuden (Bsp. Hauptbahnhof Zürich) auf, da sie aufgrund der offenen Porenstruktur als ideale Schallabsorber wirken. Weiterhin besitzen die Platten gute Brandschutzeigenschaften. Etwas schlechter gegenüber Dämmstoffen wie Mineralwolle oder Schaumkunststoffen ist die Wärmedämmfähigkeit. Dem wird mit Holzwolle-Mehrschichtplatten entgegengewirkt, die einen Kern aus Mineralwolle oder Polystyrol besitzen und mit einer ein- oder beidseitigen Deckschicht zementgebundener Holzwolle beplankt sind. Neben der besseren Wärmedämmung können Holzwolle-Mehrschichtplatten ohne Putz auch dekorativ wirken und daher im Innenbereich als Gestaltungsmittel eingesetzt werden. Für Gebäudeaussenhüllen eignen sie sich auch als Putzträger. Wie bereits erwähnt werden für Holzwolle-Platten überwiegend Nadelhölzer eingesetzt. Das hängt wie bei den mineralgebundenen Spanplatten mit bestimmten wasserlöslichen Extraktstoffen zusammen, die vor allem bei Zement die Abbindung dessen verzögern. Eine Beimischung von Buchenholzwolle zu gips- und magnesitgebundenen Platten in Anteilen bis zu 50 % ist nach Kollmann (1940) unproblematischer und wurde zu damaligen Zeiten auch schon in grösseren Mengen durchgeführt. Mittlerweile weiss man, dass durch verschiedene Methoden die Abbindung mineralgebundener Spanplatten aus „ungeeigneten“ Hölzern verbessert werden kann, so dass davon auszugehen ist, dass dies auch auf HWL-Platten zutrifft.

5.2.5 Hackschnitzel als Bodenmaterial

Hackschnitzel sind ein ideales Material für die Beet- und Bodenabdeckungen an Lärmschutzwällen, Strassenböschungen, Wegen und Spielplätzen. Pferden bieten sie einen angenehmen Boden für den Auslauf, weiterhin können sie als Erosionsschutz oder zum Mulchen von Pflanzflächen in Industrieanlagen eingesetzt werden.

5.3 Chemische Holzverwertung

In dieser Recherche fallen all jene Verfahren unter die chemische Holzverwertung, bei denen durch Aufschluss gezielt bestimmte Bestandteile aus dem Holz herausgelöst werden, um daraus spezielle Produkte herzustellen. Seit jeher spielt hierbei die Zellstoff- und Papiererzeugung die bedeutendste Rolle. Einige Produkte werden nicht mehr oder nur noch in kleinen Mengen hergestellt, andere wiederum sind aufgrund des Wandels der Zeit gerade in Entwicklung.

5.3.1 Holzstoff

Unter Holzstoff werden Fasermassen verstanden, die auf meist mechanischem Wege hergestellt werden. Verwendung findet Holzstoff bei der Herstellung von Papier, Pappe, Pappegussformteilen oder künstlichem Holz. Ausgangsrohstoff sind Rundhölzer oder Hackschnitzel. Je nachdem wird in die Schliffarten Holz- bzw. Hackschnitzelschliff unterschieden, wobei Holzschliff mittels Schleifersteinen (=Steinschliff) und

Hackschnitzelschliff mittels Refiner (=Refinerschliff) erzeugt wird. Nachteilig gegenüber Zellstoff ist das noch enthaltene Lignin, welches das Papier schnell vergilben lässt. Daher wird Holzstoff oftmals gebleicht. Wie bei den Faserplatten sind es die Fasern, die technisch nutzbar sind. Deren Anteil liegt bei Nadelhölzern um die 90 % und bei Laubhölzern um die 66 %. Grund für die Unterschiede sind die zumeist kürzeren Faserlängen bei Laubholz. Nichtsdestotrotz ist auch Holzschliff aus Laubholz sinnvoll verwertbar.

Holzschliff: Die Schweiz produzierte 2007 eine Menge von 135.000 t Holzschliff, was zum Vorjahr eine Steigerung um 5 % bedeutete. Die Höhe des Importes lag bei 3.700 t, exportiert wurden 2.000 t. Entdeckt wurde Holzschliff 1843 zufällig von Gottlob Keller. Er beobachtete, dass beim Schleifen von Kirschkernen für Schmuck ein faseriger Brei entsteht, der beim Trocknen ein feines Papierblättchen bildet. Er wendete dies auf Holz an, indem er es unter Druck und Zugabe von Wasser gegen einen rotierenden Schleifstein presste. Seither hat sich das Verfahren natürlich weiterentwickelt, das Grundprinzip ist jedoch gleich geblieben. Die Zerfaserung erfolgt mittels sogenannter Schleifersteine bestehend aus keramik- oder zementgebundenen Elementen, dessen Schleifkörner aus Korund oder Quarz sind. Aus diesem Grunde wird oft auch von Steinschliff gesprochen. Das grüne entrindete Rundholz in Längen von 1 bis 1,5 m wird faserparallel gegen die rotierenden Schleifersteine gepresst. Wasser wird zugesetzt, um den Stein zu kühlen, das Holz zu erweichen und die Holzfasern abzuführen. Nachteil des Verfahrens ist, dass die Fasern stark beschädigt werden und viele Verunreinigungen enthalten, was eine Nachbehandlung erfordert. Je nach Vorbehandlung des Holzes wird differenziert zwischen Weiss- und Braunschliff sowie dem chemischen Holzschliff:

Tab. 5-5: Schliffarten des Steinschliffs (Gutwasser 2005)

Beschreibung	Weissschliff	Braunschliff	chemischer Holzschliff
Vorbehandlung des Holzes	- keine	- Dämpfen bis 12 h, 150 °C	- Natriumsulfitlösung oder Natronlauge - Pilzkulturen
einsetzbare Holzarten	- Fichte, Tanne, Pappel, Kiefer	- Buche, Pappel, Kiefer	- Laubhölzer mittl. Rohdichte (Pappel, Birke)
Eigenschaften/ Charakteristik	- kurze Fasern, schlechtes Verfilzen - hoher Weissgrad 65 % - hoher Energieverbrauch (ca. 1000 kWh/ Tonne) - niedrige Stoffverluste (2-7 %)	- hoher Langfaseranteil, bessere Festigkeiten, gutes Verfilzen - dunkle Farbe (Weissgrad nur 15-20 %) - Energiebedarf um 20–30 % niedriger - hohe Stoffverluste (15-20%)	- besonders hoher Langfaseranteil - Weissgrad etwas schlechter als bei Weissschliff - Verbrauch von 30-50 % weniger Energie zum Verschleifen als ohne Vorbehandlung
Verwendung	- Zeitungsdruck-, Schreibpapier, Holzkarton	- braunes Packpapier, Pappe, Kartons	- holzhaltige Papiere, z.B. Zeitungsdruckpapier

Abb. 5-10: Steinschliff (Gutwasser 2005)

Refinerschliff: Die Zerfaserung von Hackschnitzeln erfolgt im Refiner mittels rotierender profilierter Mahlscheiben. Auch hier werden verschiedene Herstellungsarten unterschieden. Es können sowohl Nadel- als auch Laubhölzer eingesetzt werden.

Tab. 5-6: Schliffarten des Hackschnitzelschliffs (Gutwasser 2005)

Beschreibung	Refiner-Holzstoff	Thermomechanischer Holzstoff TMP	Chemischer-mechanischer Holzstoff
Vorbehandlung des Holzes	- kurzzeitiges Dämpfen oder Kochen in Wasser	- Dämpfen bei 140-160 °C	- Tränkung mit Natrium sulfit und –bisulfit (teils unter Druck)
einsetzbare Holzarten	- vorwiegend Nadelholz	- Nadel- und Laubholz	- Birke, Buche, Aspe
Eigenschaften/ Charakteristik	- Stoffausbeute über 95 % - Energieverbrauch bei Nadelholz etwas höher als bei Steinschliff	- Zerfaserung unter Druck bei 100-135 °C - schonende Defibrierung, gute Papierfestigkeiten - hoher Energieverbrauch - hohe Stoffdichte (25-30 %) - Weissgrad 60 %	- hoher Langfaseranteil - verminderter Energiever-brauch
Verwendung	- wie andere Holzstoffe	- Zeitungsdruckpapier, holz-haltige Papiere	- wie andere Holzstoffe

Abb. 5-11: Refinerschliff (Gutwasser 2005)

5.3.2 Zellstoffherstellung

Grundsätzliches: Zellstoff ist wie Holzstoff eins der Ausgangsmaterialien für die Papierherstellung. Die Erfindung des Holzschliffs war ausschlaggebend für die kontinuierliche Bereitstellung von Papier. Jedoch werden die Papiere aufgrund des hohen Ligningehaltes mit der Zeit brüchig und verfärben sich schnell gelb. Die technische Weiterentwicklung war daher die Herauslösung des Lignins auf chemischem Weg, was 1850 mit der Erfindung des Natronzellstoffs gelang, gefolgt vom Sulfitzellstoff 1874 und Sulfatzellstoff 1882. Lange Zeit blieben Fichte und Tanne die einzigen Rohstoffe. Da jedoch der Bedarf an Papier immer weiter zunahm, war man gezwungen, auch andere Hölzer einzusetzen. Nach Modifizierung der Verfahren konnten schliesslich auch Kiefer und Laubhölzer wie die Buche eingesetzt werden. Besonders interessant wurden mit einem Male auch Hölzer, die bis dahin kaum als Rohstoff genutzt wurden, jedoch schnell wachsen, leicht ersetzbar sind und möglichst lange Fasern aufweisen. Sogenannte Plantagenhölzer sind u.a. Pappel und Eukalyptus. Heutzutage wird der überwiegende Teil des Zellstoffs aus Eukalyptus, herangezogen auf Waldplantagen in Südamerika, Südafrika und Australien, gewonnen. Infolgedessen wird viel Zellstoff importiert, da die Transportkosten meist unter den Produktionskosten liegen. Mitunter geschieht das zum Nachteil landesansässiger Firmen. So geschehen bei der Borregaard Schweiz AG, einer Niederlassung von Borregaard aus Norwegen, die sämtliche holzbasierte Chemikalien herstellen. Die Borregaard Schweiz AG war ein Standort zur Produktion von hoch veredelten Zellstoffen und Nebenprodukten. Die 2002 gegründete Firma entstand durch die Übernahme der ehemaligen Cellulosefabrik Attisholz AG durch Borregaard. Das Werk musste im September 2008 schliessen, da sich die Produktion wegen deutlich gestiegener Energiepreise und starker Preis-und Absatzeinbrüche nicht mehr rentierte. Besonders die Waldwirtschaft bedauerte diesen Schritt, da doch die Borregaard Schweiz AG einer der bedeutendsten Abnehmer für Industrieholz war. Der jährliche Nadelholzanteil betrug ca. 600.000 m³, Laubholz wurde immerhin in Mengen um die 100.000 m³ verarbeitet. Die Herstellung von Buchenzellstoff wurde allerdings schon vor der Schliessung eingestellt, da die Konkurrenz des günstigeren Eukalyptuszellstoffes zu stark war. Deutlich sichtbar wird die Einstellung bei Betrachtung der Produktionszahlen. Wurden 2007 noch 109.000 t Zellstoff erzeugt, waren es 2008 nur noch 72.000 t. Die Schweiz ist damit gezwungen, mehr zu importieren, um den eigenen Bedarf von durchschnittlich 530.000 t zu decken. Kapazitäten heutiger Werke liegen mitunter, wie z.B. in Südamerika, bei 1.000.000 t/Jahr. Die grössten Werke in Europa sind die Zellstoff Stendal Holz GmbH (Kapazität: 620.000 t/Jahr), Stora Enso und Södra in Skandinavien. Södra geben auf ihrer Internetseite sogar eine Produktionsmenge von 2.000.000 t Zellstoff pro Jahr verteilt über fünf Standorte an.

Charakteristik, Forschung: Zur Herstellung von Zellstoff dienen als Ausgangsrohstoffe ca. 75 % Nadelholz, 20 % Laubholz und 5 % Einjahrespflanzen. Die Unterschiede im anatomischen Aufbau von Nadel- und Laubhölzern beeinflussen massgeblich die Eigenschaften des Zellstoffes. Nadelhölzer liefern lang- und Laubhölzer kurzfaserigen Zellstoff. Cellulose ist die Grundlage des Zellstoffes, die chemisch freigelegt werden muss, indem alle restlichen Bestandteile (Hemicellulosen, Lignin) in lösliche Stoffe überführt werden. Die Wahl des Aufschlussverfahrens ist von wesentlicher Bedeutung für die Qualität und die Eignung der Zellstoffe für verschiedenen Anwendungszwecke. Übliche Verfahren sind das alkalische Sulfat- und das saure Sulfitverfahren, die schon Ende des 19. Jhd. entwickelt wurden. Ungefähr 95 % der heutigen Weltproduktion werden nach dem Sulfatverfahren hergestellt. Das Sulfitverfahren repräsentiert lediglich noch 2-3 % der Produktion. Zudem existieren mittlerweile zahlreiche weitere alternative Methoden: das

ASAM-, Alcell-, Acetosolv-, Acetocell-, Formacell- und Alkanolamin-Verfahren sowie der Quantum-Prozess und das Milox- und Natural Pulping-Verfahren.

Zu Beginn der Zellstoffproduktion kamen ausschliesslich Nadelhölzer zur Anwendung. Auf Grund von Engpasssituationen während des Zweiten Weltkrieges war Deutschland schliesslich gezwungen, andere Rohstoffe für Zellstoff zu verwenden, um so die Produktion von kriegswichtigen Stoffen wie Verbandsmaterial sicher zu stellen. Die Schweiz zeigte sich dem gegenüber schon früher offen. Der Gründer der Cellulosefabrik Attisholz Dr. Benjamin Sieber stellte schon um 1900 Aspenzellstoffe her und untersuchte in den 1920er Jahren weitere in grösseren Mengen vorhandene Laubhölzer auf ihre Eignung als Papierzellstoff. Er bewies, dass sich ausser der Eiche beinah alle Laubhölzer chemisch aufschliessen lassen. Praktisch durchgesetzt hat sich die Buche, deren Zellstoff seit 1935 grosstechnisch in Attisholz erzeugt wurde. Mitte der 1950er Jahre musste die Produktion jedoch eingestellt werden, da das schweizerische Buchenholz in Qualität und Preis nicht mit der deutschen Ware konkurrieren konnte. Im schweizerischen Buchenholz vielfach vorhandene schwarze Äste wurden durch damalige Sortier- und Bleichmaschinen nur unzuverlässig entfernt, so dass der Zellstoff oftmals schwarze Verunreinigungen enthielt. Durch Verbesserung der Sortiereinrichtung und Bleicherei konnte die Qualität massgeblich gesteigert werden, allerdings war der Preis verglichen mit dem deutschen Produkt noch immer zu hoch. Diesbezüglich konkurrenzfähig wurde der Zellstoff schliesslich 1959, als die Forstabteilung der ETH beschloss Buchenholz, direkt der chemischen Weiterverarbeitung zuzuführen. Trotz einiger morphologischer Eigenheiten der Buche (kurze Fasern, geringer Faseranteil, ungünstiges Verhältnis Faserbreite:Faserwandanteil) wurde der Zellstoff doch geschätzt, da er gerade wegen seiner Faserform den daraus hergestellten Papieren eine gute Opazität, bessere Saugfähigkeit und ein erhöhtes Volumen verlieh. Am Beispiel von Borregaard ist jedoch zu sehen, dass Buchenzellstoff in der heutigen Zeit aufgrund der vermehrten Nutzung von Plantagenhölzern nicht mehr wettbewerbsfähig ist.

5.3.3 Papier-, Karton- und Pappeherstellung

Grundlage für Papier ist Holzstoff, Zellstoff oder Altpapier. Durch das Aufschwemmen der Materialien und Entwässern auf einem Sieb oder zwischen zwei Sieben entsteht ein Faservlies, welches anschliessend verdichtet und getrocknet wird. Die Anfänge des Papieres gehen auf die Chinesen zurück, die 105 n. Chr. ein neuartiges Verfahren zur Erzeugung von Papier aus dem Bast des Maulbeerbaumes entwickelten. Die Fasern wurden hierbei nach Stampfen, Kochen und Entwässern mit einem Sieb abgeschöpft, getrocknet, gepresst und geglättet. Vorher dienten die unterschiedlichsten Materialien und Untergründe als Schrift- und Zeichnungsträger, wie z.B. Höhlen, Tontafeln, Papyrus, Pergament oder Wachs. In Europa war es schliesslich 1844 Gottlob Keller, dem mit seiner Zufallserfindung des Holzschliffs das noch heutige übliche Verfahren zu verdanken ist. Er löste damit ein essentielles Problem, denn die vormals genutzten Lumpen konnten der nötigen Menge nicht mehr gerecht werden.

Papier, Karton und Pappe unterscheiden sich bezüglich ihres Flächengewichtes von < 250 g/m² (Papier), 250-600 g/m² (Karton) und 600-1000 g/m² (Pappe). Pappen schwerer als 1000 g/m² werden nicht mehr nach Gewicht, sondern nach Dicke in mm klassifiziert. Nach der Confederation of European Paper Industries (CEPI) werden folgende Hauptsorten unterschieden:

- holzhaltige Papiere
- holzhaltige grafische Papiere, gestrichen und ungestrichen
- holzfreie grafische Papiere, gestrichen und ungestrichen
- Haushalts- und Hygienepapiere

- Verpackungspapiere
- Wellpappenrohpapiere
- Faltschachtelkartons
- andere Kartons, Papiere und Spezialpapiere

Im Jahre 2008 wurden in der Schweiz ca. 1,77 Mio. Tonnen Papier, Karton und Pappe aus 1,4 Mio. Tonnen Faserstoffen produziert. Den Rest nehmen Hilfsstoffe wie Klebemittel oder Pigmente ein. Die Faserstoffe stammen zu 10 % aus Holzstoff, 37 % aus Zellstoff und 53 % aus Altpapier. Der Anteil an Holzstoff und Altpapier stammt hauptsächlich aus dem Inland, Zellstoff dagegen wird zum grössten Teil aus Europa importiert (Anonymus 2008a).

Geeignet sind sowohl Nadel- als auch Laubhölzer. Die unterschiedlichen Fasern beeinflussen jedoch massgeblich die Eigenschaften der Papiere:

Abb. 5-12: Einfluss der Fasereigenschaften von Nadel- und Laubholz auf die Papiereigenschaften

5.3.4 Produkte aus Cellulose

Aus Cellulose lassen sich neben Zellstoff viele weitere Produkte herstellen. Dabei kann es mitunter sein, dass die Cellulose derart verändert wird, dass sie als solches nicht mehr erkennbar ist. Im Folgenden werden einige dieser Verfahren und Verwendungsmöglichkeiten vorgestellt.

1. **Dämmstoffe**

Cellulose als Dämmstoff ist zwar kein Produkt zur Verwertung überschüssiger Holzreste, allerdings ist es ein optimales Beispiel für eine sinnvolle Kaskadennutzung. Ausgedientes Zeitungspapier wird mechanisch in mehreren Schritten zerkleinert und aufgefasert. Die dabei entstehenden Celluloseflocken werden zur Erhöhung des Brandschutzes meist noch mit Bor oder Borsalzen ausgestattet werden und sind anschliessend direkt als Einblasdämmung verwendbar. Bei dieser Methode verfilzen sich die Fasern zu einem festen Vlies. Daneben kann Cellulose auch in Plattenform geliefert oder auf senkrechte Schalungen aufgespritzt werden. Der Dämmstoff zeichnet sich durch eine Vielzahl positiver Eigenschaften aus, wie z.B.: diffusionsoffen, feuchtigkeitsregulierend, schimmelbeständig, ungezieferresistent, gesundheitlich unbedenklich, ökologisch einwandfrei (Recyclingrohstoff), geringer Energieaufwand bei der Herstellung, nach Absaugung wiederverwendbar, deponiefähig, hohe Elastizität der Zelluloseplatten und keine erhöhte Brandgefahr.

2. Regeneratcellulose

2-3 % der Zellstoffproduktion wird als reiner Chemiezellstoff weiterverarbeitet. Den mengenmässig grössten Bestandteil nimmt dabei die sogenannte Regeneratcellulose ein, aus der die verschiedensten Produkte in Form von Cellulosefasern (Viskose, Modal, Tencel), Folien, Membranen und Schwämme hergestellt werden können. Zur Herstellung der regenerierten Cellulose dienen verschiedene Verfahren wie das schon seit über 100 Jahren angewendete Viskose-, das neuere Carbamat- sowie das Lyocellverfahren.

Cellulosefasern werden aufgrund ihres Ausgangsrohstoffes Holz auch „natürliche Kunstfasern“ genannt. Zur Herstellung dieser ist das Viskoseverfahren noch immer das Dominierende. Es gliedert sich in die Prozessschritte: Alkalisierung – Zerfasern – Vorreife – Sulfidierung – Lösen – Filtrieren – Nachreife – Spinnen. Die Cellulose wird hierbei in wässrige Natriumhydrxid-Lösung gelegt, wodurch Natroncellulose entsteht. Durch Umsetzen (=Derivatisierung) der Natroncellulose mit Schwefelkohlenstoff bildet sich Natriumxanthogenat, die mit Natronlauge gemischt eine gelbe, dickflüssige (viskose) Lösung ergibt. Nach Filtrierung und Reifeprozess wird die Spinnlösung zu Fasern oder mit entsprechenden Düsen zu Folien geformt, deren Teilchen jedoch noch fein verteilt sind. Die Aufhebung dieses Zustandes erfolgt in einem schwefelsauren und salzhaltigen Fällbad. Nach diesen Verfahren hergestellte Fasern weisen hervorragende Eigenschaften auf, angepasst auf den jeweiligen Verwendungszweck. Sogenannte Modalfasern sind nassfest und baumwollähnlich, andere Anwendungen sind u.a technische Garne für Hochleistungsreifen. Neben einigen Nadelhölzern ist aus mitteleuropäischen Breiten besonders die Buche dafür geeignet.

Das Carbamatverfahren verläuft gleich den Prozessen des Viskoseverfahrens, einziger Unterschied ist die Derivatiesierung mit Harnstoff anstatt mit Schwefelkohlenstoff, was sehr viel umweltfreundlicher ist. Der benötigte Schwefelkohlenstoff des Viskoseverfahrens ist toxisch, zudem bildet er sich während des Verfahrens wieder zurück. Daneben entsteht zusätzlich der äusserst giftige Schwefelwasserstoff. Weitere Vorteile des Carbamatverfahrens sind das Auflösen und Spinnen in einem Arbeitsgang sowie die Lagerungsfähigkeit des Zwischenproduktes Cellulosecarbamat bis zu einem Jahr ohne Qualitätsverluste. Grosstechnisch kommt diese Methode noch nicht zur Anwendung, jedoch wurde nachgewiesen, dass die Verarbeitung auf Viskosespinnmaschinen problemlos möglich ist (Fink et al. 2009).

Beim Lyocellverfahren kann der Zellstoff direkt und unverändert ohne vorherige Derivatisierung aufgelöst werden. Das dabei eingesetzte N-Methylmorpholim-N-oxid (NMMO) ist kein Gefahrstoff und damit ungiftig. Lyocellfasern werden üblicherweise Tencelfasern genannt. Das hängt mit dem Kauf der Marke Tencel durch die österreichische Lenzing AG vom Konkurrenten Courtaulds zusammen, der den Bereich infolge mehrerer Eigentümerwechsel ausgliederte. Der Name Tencel genoss einen höheren Bekanntheitsgrad, so dass dieser mit übernommen wurde. Neben den Tencelfasern sind aus der Spinnlösung heraus auch Vliese und Blasfolien herstellbar.

Abb. 5-13: Im Lyocellverfahren hergestellter Vlies (Fink et al. 2009)

3. Derivate der Cellulose

Neben der Regeneratcellulose können aus Chemiezellstoff auch Derivate gewonnen werden, die in nahezu allen Bereichen des Alltags zu finden sind. Dazu gehören die Herstellung von Bauchemikalien, Sprengstoffen, Lebensmitteln, Farben, Lacken oder Kunststoffen. Besonders die Kunststoffe werden immer bedeutender. Sie gelten als Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen oder Biokunststoffe und sind damit unabhängig von fossilen Rohstoffen.

Für die Herstellung ist eine Aktivierung der Cellulose nötig. Diese erfolgt mit verschiedenen Stoffen, wodurch Derivate unterschiedlicher Qualität und mit verschiedenen Eigenschaftsprofilen entstehen. Zwei kommerziell bedeutungsvolle Derivate sind Celluloseester und –ether (Tabelle 5-7):

Tab. 5-7: Formen und Anwendungen des Celluloseesters (Gutwasser 2005)

Beschreibung	**Celluloseester**			
	-acetat CA	**-nitrat CN**	**-propionat CP**	**-acetobutyrat CA**
Erzeugung	- Acetylierung mit Essigsäurenahydrid	- Veresterung mit Salpetersäure	- Veresterung mit Propionsäure	- Veresterung mit Essig- u. Buttersäure
Technische Produkte	**- veraltet:** → Cellon (unbrennbar, öl-, wasserfest) **- zeitgemäss:** → Acetat-Kunstseide (hohe Zug- und Wasserfestigkeit, → Acetat-Lacke → Kunststoff	**- veraltet:** → CN-Kunstseide (feuergefährlich) → Schiessbaumwolle → Celluloid (erstes Kunstharz) - **zeitgemäss**: → CN-Lacke → Kunststoff	- Verwendung meist als Kunststoff	
Bsp. Verwendungen	- Brillengestelle - Folien für Bildschirme und Displays - Schraubendrehergriffe	- Rohstoff für Lacke und Membranen - Komponente für Explosivstoffe - Kämme, Haar-Schmuck	- Brillengestelle - Kugelschreiber - Schraubendrehergriffe - Spielwaren	- Griffbeschichtungen (z.B. Schweizer Offiziersmesser) - Kabelrohre - Automobilzubehör - Folien

Tab. 5-8: Formen und Anwendungen des Celluloseethers (Fink et al. 2009)

Beschreibung	Celluloseether Caboxymethylcellulose CMC	 Hydrxyethylcellulose HEC	 Methylcellulose MC
Erzeugung	- Reaktion mit Monochloressigsäure	- Umsetzung Alkalicellulose mit Ethylenoxid	-Umsetzung Alkalicellulose mit Methylchlorid
Technische Produkte	- Herstellung je nach Verwendungszweck als Rein-CMC oder Roh-CMC	/	- weniger bedeutend, daher Herstellung meist als Mischether in Methyl-hydroxyethyl-u. Methyl-hydroxypropylcellulose
Bsp. Verwendungen	- Rein-CMC: Dickungsmittel für Kosmetik und Pharmazie - Roh-CMC: Bohrhilfsmittel in der Erdölgewinnung	- u.a. in Dispersionsfarben zur Verhinderung des Verspritzens der Farbe beim Auftragen	- u.a. im Baustoffbereich als Additive für Fliesenkleber

4. Holzverzuckerung

Cellulose und Hemicellulosen des Holzes sind chemisch gesehen Polysaccharide (Mehrfachzucker). Gebildet werden sie aus Monosacchariden bzw. Einfachzuckern, die über glykosidische Bindungen miteinander gekoppelt werden. Bei Cellulose handelt es sich um Glukosebausteine, die Hemicellulosen setzen sich je nach Holzart aus Pentosanen oder Hexosanen zusammen. Der durchschnittliche Celluloseanteil vieler Hölzer lieg bei 43 % (Tabelle 5-2), der der Hemicellulosen zwischen 20-30 %. Der folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einem Cellulosemolekül:

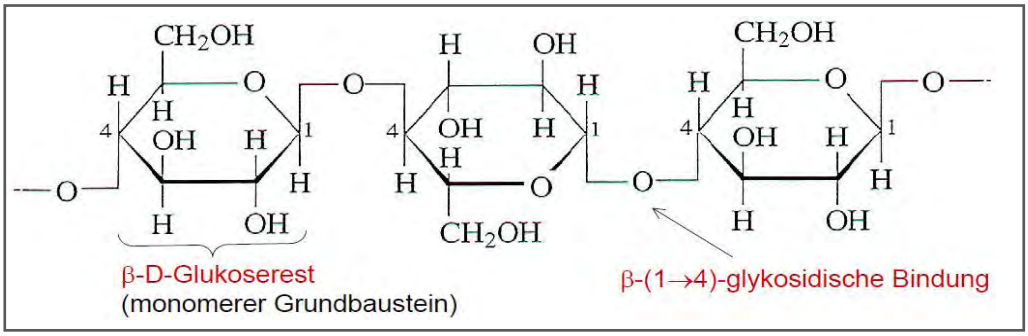


Abb. 5-14: Aufbau der Cellulose aus Glukoseeinheiten (Gutwasser 2005)

Bedeutend war die Gewinnung von Zucker aus Holz vor allem in Krisenzeiten für die Lebens- und Futtermittelindustrie. Von der Entdeckung bis zur wirtschaftlichen Reife war es jedoch ein langer Weg. 1819 entdeckte der Franzose Braconnot die Möglichkeit der Zerlegung, es folgten unzählige Verfahrensvorschläge, von denen lediglich drei technische Bedeutung erlangten – das Scholler-Tornesch, das Bergius-Rheinau- und das Udic-Rheinau-Verfahren. Im Scholler-Tornesch-Prozess erfolgt die Umsetzung mit verdünnter Schwefelsäure unter hohen Drücken bis 1,0 MPa und Temperaturen bis 180 °C. Die Bergius-Rheinau- und Udic-Rheinau-Methode arbeiten mit konzentrierter Salpetersäure bei niedrigeren Drücken bis 0,1 MPa sowie Umgebungstemperatur. Je nach Verfahren lag der Zucker am Ende entweder als Lösung (Sirup) oder in kristalliner Form vor. Eingesetzt wurden zu damaliger Zeit sowohl Nadel- als auch Laubhölzer. Die Ausbeuten zeigten bei beiden nur geringe Unterschiede, wie

aus einer Tabelle in Sandermanns „Grundlagen der Chemie und der chemischen Technologie des Holzes“ hervorgeht:

Tab. 5-9: Ausbeuten nach dem Udic-Rheinau-Verfahren (Sandermann 1956)

Produkt	kg Ausbeute aus je 100 kg	
	Nadelholz	Laubholz
kristallisierter Traubenzucker	31	33
Futtermelasse mit 50 % Zucker	42	41
Sirup mit 60 % Zuckergehalt	14	14
Rheinau-Lignin	27	25

Im Gegensatz zu Regeneratcellulose bzw. zu den Derivaten ist der reine Holzzucker gegenwärtig nicht mehr von wirtschaftlicher Bedeutung, allerdings lässt sich dieser zu interessanten Produkten weiterverarbeiten, von denen einige immer stärker in das Interesse rücken. Aus der Zuckerlösung kann zum einen Furfurol gewonnen werde. Diese Flüssigkeit kann als Lösungsmittel oder als Ausgangsstoff zur Herstellung von Kunstharzen eingesetzt werden. Ein anderer Weg ist die Fermentation zu Milchsäuren, Fetten, Eiweissen, Essigsäure und Alkohol. Gerade dieser Alkohol wird immer wichtiger, da er in Form von Ethanol als Treibstoff fungieren kann. Näheres dazu wird im Abschnitt 5-4 „Holz als Energieträger“ erläutert.

5.3.5 Produkte aus Lignin

Neben der Cellulose und den Hemicellulosen besitzt das Holz noch einen dritten Hauptbestandteil. Das Lignin umhüllt die Cellulose und Hemicellulosen, dient damit als Kittsubstanz und ist der Grund für die hohe Druckbeanspruchbarkeit der Fasern. Für die Zellstoff- und Papierherstellung wird lediglich die Cellulose benötigt, das Lignin wird herausgelöst und ist damit ein Nebenprodukt. Dabei liegt es als Kraft-Lignin oder in Form von Lignosilfansäuren in gelöstem Zustand vor und kann daraus extrahiert werden. Immerhin fallen jährlich weltwei ca. 50 Mio. Tonnen an (Kamm et al. 2006). Aufgrund negativer Eigenschaften wie dunkle Farbe und intensiver Geruch ist die Weiterverarbeitung von Lignin unpopulärer als die der Cellulose. Hinzu kommen anwendungstechnische Hemmnisse, fehlende Untersuchungen und mangelnde Entwicklungen. Über die Ligninverwertung wird schon seit Jahrzehnten nachgedacht. Sandermann (1956) sprach von einem „Sorgenkind“, da lediglich 0,5 % des Lignins technisch weiterverarbeitet wurden. Hauptverwendungszweck war die Verbrennung, obwohl 1600 Patente zur Ligninverwertung existierten. Keine schaffte jedoch einen wirtschaftlichen Durchbruch, obwohl die Menge je 1000 kg Fichten- oder Buchenholz nicht unerheblich ist – bis zu 400 kg. Im Vergleich dazu entstehen ebenso 400 kg an Cellulose.

Sandermann (1956) gab in seinem Buch schon damals einen umfangreichen Überblick. Je nach Aufschlussverfahren eignet sich Lignin neben der Verbrennung u.a. auch zur Produktion von Dünger, Aktivkohle, Füllmittel für Kautschuk, Klebstoff, Staubbindemittel, Alkohol oder Vanillin. Da jedoch einige der Vorschläge nicht industriell umsetzbar waren, erwies sich die Verwertung im Holzverband als bessere Variante, z.B. zur Herstellung von Bauplatten, Formkörpern oder Kunststoffen. Auch heute wird Lignin nur geringfügig und in der Hauptsache energetisch verwertet, da die Verarbeitung als Rohmaterial noch immer schwierig und damit weit entfernt von einer industriellen Nutzung ist. Das liegt zum einen an einer steigenden Wertschätzung der Lignocellulose (Nutzung von Cellulose und Lignin im Verbund). Hinderlich ist zum anderen die komplexe Struktur des Lignins und die damit

verbundene Inhomogenität, so dass eine genaue Aussage über definierte Eigenschaften schwierig ist. Eine Extrahierung aus den Ablaugen in der Zellstoffproduktion ist weiterhin sehr aufwendig, da diese zum Teil stark verunreinigt sind. Dennoch besitzt Lignin für einige Anwendungen ein hohes Potential, wie aus folgender Darstellung hervorgeht:

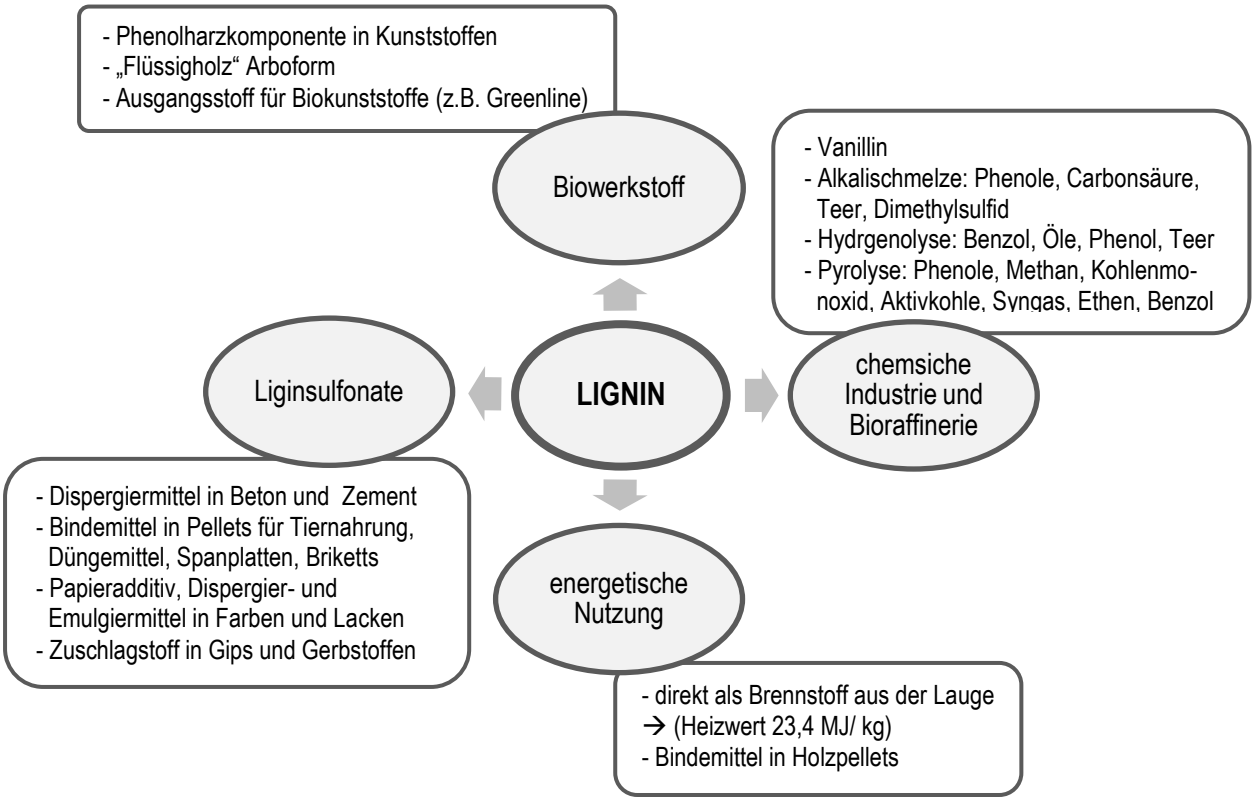


Abb. 5-15: Verwendung von Lignin (Kamm et al. 2006; Bozell et al. 2007)

Das Schweizer Unternehmen wez Kunststoffwerk AG entwickelte unter dem Namen „Greenline“ einen Biokunststoff, dessen Basis Lignin ist. Verarbeitet wird der Werkstoff mit konventioneller Spritzguss-Technologie aus dem Kunststoffbereich zu sortimentseigenen Produkten und technischen Teilen. Für die Bearbeitung eignen sich Werkzeuge für Polyolefine.

Ein besonderer Werkstoff ist Arboform, aufgeführt unter den Biowerkstoffen, welcher 1998 von der TECNARO GmbH in Deutschland entwickelt wurde. Dabei handelt es sich um getrocknetes Lignin, was mit Naturfasern (Hanf, Flachs) und Additiven vermischt wird. Dieses Gemisch kann anschliessend unter Drücken bis 100 MPa und Temperaturen bis 170 °C thermoplastisch verformt werden. Sowohl Extrusion, Spritzgiessen, Pressen als auch Blas- und Tiefziehen sind auf Maschinen der kunststoffverarbeitenden Industrie möglich. Allerdings handelt es sich hierbei um keinen Kunststoff, daher wird Arboform auch „Flüssigholz“ genannt. Das reine Naturprodukt hat wesentliche Vorteile. Er ist frei von Erdöl, beliebig verformbar, problemlos recyclebar, physiologisch unbedenklich und frei von Schwermetallen mit sehr guten mechanischen Eigenschaften. Aus dem Werkstoff werden mittlerweile zahlreiche Produkte wie Musikinstrumente, Radiogehäuse, Autolenker, Armaturenbretter, Schmuck, Trägerformteile für Möbel und Spielwaren hergestellt. Das Unternehmen Gucci nutzt Arboform zur Fertigung von Absätzen und Sohlen (Anonymus 2009a).

Abb. 5-16: Anwendungsbeispiele – Lautsprecher und Lenkradsegmente – aus Arboform (TECNARO GmbH)

5.4 Holz als Energieträger

Holz, und somit auch Laubholz, kann zur Energieversorgung oder als Treibstoff genutzt werden. Besonders im Zuge der Verknappung fossiler Ressourcen wird dieser Aspekt immer wichtiger werden. Interessant ist Holz deswegen, weil es im Gegensatz zur Gewinnung von Energie aus Pflanzen der Landwirtschaft keine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion darstellt. Ausserdem sind keine Stämme und hochwertigen Qualitäten nötig, es bieten sich sowohl Holzreste als auch minderwertige Sortimente an. Auf den Einsatz von Stammholz der Qualitätsklasse B und C sollte jedoch, wie zurzeit Realität in der Schweiz, verzichtet werden, um ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen den einzelnen Sortimenten zu gewährleisten. Für eine Verwirklichung der angestrebten Kaskadennutzung ist dieser Aspekt besonders wichtig.

Mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls von 2003 verpflichtete sich die Schweiz ihren CO_2-Ausstoss bis 2012 um 8 % gegenüber 1990 zu senken. Um dies zu erreichen, trat im Mai 2000 das „Bundesgesetz über die Reduktion der CO_2-Emissionen“ (kurz CO_2-Gesetz) in Kraft, in dem verbindliche Ziele zum Erreichen der Vorgaben festgelegt wurden. Daraus geht hervor, dass der CO_2-Ausstoss bis 2010 sogar um 10 % durch poltische Anordnungen sowie freiwillige Massnahmen von Unternehmen und Privathaushalten vermindert werden soll. 2005 musste der sogenannte Klimarappen eingeführt werden, da festgestellt wurde, dass das angestrebte Ziel auf diese Weise nicht erreicht wird. Dabei handelt es sich um einen Zuschlag um 1,5 Rappen pro Liter Benzin oder Diesel. Mit den Einnahmen werden Projekte zur Bewältigung der erforderlichen CO_2-Reduzierung finanziert. Auch Holz spielt dabei eine wichtige Rolle. Ein steigender Holzzuwachs, wie aus den Daten des dritten Landesforstinventars hervorgeht, geht mit einer zunehmenden CO_2-Bindung einher. Werkstoffe aus Holz tragen ebenso dazu bei, CO_2-intensivere Baustoffe wie Stahl oder Beton zu ersetzen. Durch energetische Nutzung kann zudem der Verbrauch und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen wie Erdöl minimiert werden.

Einige Verfahren müssen den heutigen Umweltanforderungen angepasst werden. Neben der reinen energetischen Nutzung in Verbrennungsanlagen besteht weiterhin die Möglichkeit der Holzvergasung sowie der Umwandlung des Holzes in Bioethanol. Im Gegensatz zu biogenen Treibstoffen aus Pflanzen der Landwirtschaft (Zuckerrohr, Mais, Raps, Kartoffeln,…) besitzen Treibstoffe aus Biomasse wie Holz noch keine technologische Marktreife oder werden nur in kleinem Massstab erzeugt. Daher werden sie in der Literatur auch oft als biogene Treibstoffe der zweiten Generation bezeichnet. Zahlreiche Studien und Entwicklungen zeugen jedoch von einem baldigen Durchbruch. Wichtig ist vor allem die

Wettbewerbsfähigkeit mit aktuellen Energiepreisen. Die nachstehende Grafik stellt die Wege dar, wie Holz als Energieträger dienen kann:

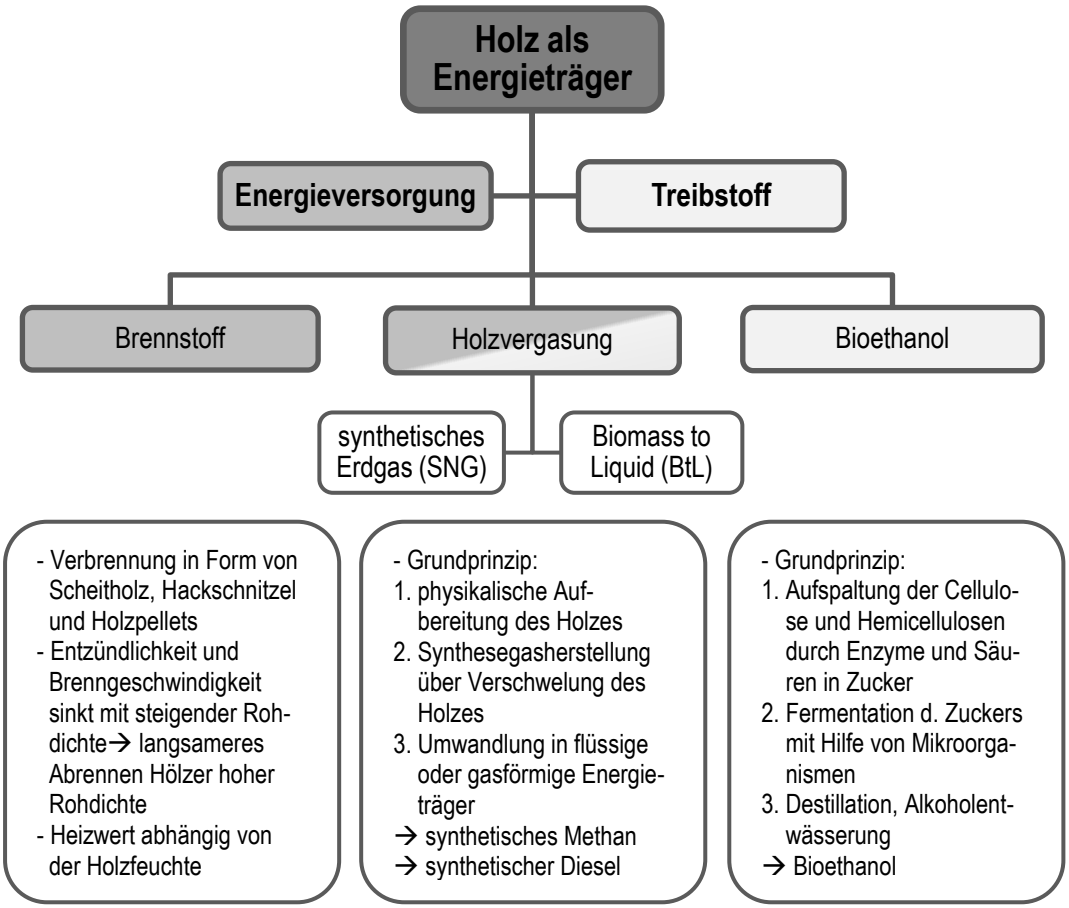


Abb. 5-17: Wege des Holzes als Energieträger

5.4.1 Holzvergasung

Das Prinzip der Holzvergasung kam bereits im Zweiten Weltkrieg für den Antrieb von Motoren zur Anwendung. Kleingehacktes Holz wurde mit wenig Sauerstoff verschwelt, wodurch ein Gemisch aus brennbaren Gasen (Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan) und Nebenprodukten (Teer, Asche, Kohlenstoff) entstand. Diese Gase wurden direkt im Motor verbrannt, was jedoch Substanzen freisetzte, die Nase und Umwelt reizen. Zudem lassen gesetzliche Vorschriften diese mit den Zielen des Kyotoprotokolls nicht zu vereinbarende Antriebsform nicht mehr zu. Da das Verfahren jedoch genial und ausbaufähig ist, sucht die Wissenschaft neue Wegen. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten – die Erzeugung synthetischen Erdgases (SNG) oder Biomass to Liquid (BtL).

Synthetisches Erdgas: Nachdem das Holz entsprechend der Vergasung zu Synthesegas verschwelt wird, kann es anschliessend mittels Katalysatoren in kurzkettige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, die Methan entsprechen, einem farb-, geruchlosem und brennbarem Gas, das Hauptbestandteil von Erdgas ist. Ziel der Zukunft sind Grossanlagen, von denen aus synthetisches Erdgas (SNG) ins bestehende Erdgasnetz eingespeist werden soll. An der Entstehung eines solchen Werkes ist u.a. das Paul Scherrer Institut (PSI, Villingen) beteiligt. Dort werden die Grundlagen für eine solche katalytische

Methanisierung entwickelt und das Verfahren auf ein Biomassekraftwerk im österreichischen Güssing angepasst. In Zusammenarbeit mit diesem Kraftwerk, der Technischen Universität Wien sowie einer Anlagenbaufirma der Schweiz entstand eine komplette Technologie zur Produktion von SNG. Diese wird derzeit im industriellen Massstab erprobt und ist der Anfang einer kommerziellen Nutzung. Aus 50.000 Tonnen Holz liessen sich 18 Mio.m³ SNG gewinnen, was dem Antrieb für 13.000 Gasautos entspräche, die jeweils 15.000 km fahren (Stucki und Waser 2006).

Biomass to Liquid: Unter diesen Begriff verbergen sich aus Biomasse erzeugte flüssige Treibstoffe, kurz: Biodiesel. Im Gegensatz zu SNG werden keine kurz- sondern langkettige Kohlenwasserstoffe gebildet. Angewendet wird hierbei die schon in den 1920er Jahren entwickelte Fischer-Tropsch-Synthese, bei der zu damaliger Zeit Kohle als Ausgangsprodukt diente. Während des fossilen Erdgas- und Erdölzeitalters geriet das Verfahren in Europa bald in Vergessenheit. Allein Südafrika nutzte es aus wirtschaftlichen und politischen Gründen weiter. Im Zuge der Klimaveränderungen besann man sich auch in Mitteleuropa wieder der Methode, anstatt Kohle wird holzartige Biomasse eingesetzt. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese reagieren Wasserstoff und Kohlenmonoxid (Produkte der Holzvergasung) mit Hilfe von Metallkatalysatoren zu langkettigen Kohlenwasserstoffen. Die Reaktion wird so lange wiederholt, bis der gewünschte Endzustand des synthetischen Diesels erreicht ist. Vorteil daran ist die Anpassung des Treibstoffes auf die Erfordernisse der Fahrzeuge. Noch wird das Verfahren nicht grosstechnisch angewendet, jedoch entsteht derzeit im sächsischen Freiberg (Deutschland) durch die CHOREN Industries GmbH eine Anlage, welche in naher Zukunft jährlich 80.000 Tonnen „SunDiesel®“ produzieren soll. Längerfristig plant das Unternehmen fünf Anlagen mit einer Gesamtproduktionsmenge von 1 Mio. Tonnen pro Jahr. Kooperationspartner sind Daimler und Volkswagen, die mit dem Namen „SunDiesel®“ für ein umweltfreundliches Produkt werben.

5.4.2 Bioethanol oder Cellulose-Ethanol

Bioethanol aus Stroh, Gras oder eben Holz wird auch als Cellulose-Ethanol bezeichnet, da der Ethanol nicht wie bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen direkt aus gespeicherten Zucker in Form von Stärke oder Saccharose gewonnen wird, sondern aus holzartiger Biomasse. Diese Gewinnung zeichnet sich durch eine bessere Umweltbilanz aus, zudem stehen lignocellulosehaltige Rohstoffe im Gegensatz zu Mais, Zuckerrohr oder Raps nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie. Unterschied zu der herkömmlichen Bioethanolherstellung ist die notwendige vorherige Spaltung der Cellulose und Hemicellulose mit Hilfe von Säuren und Enzymen. in die einzelnen Zucker, ähnlich der Holzuckergewinnung. Die anschliessende Fermentation, Destillation und Trocknung verläuft analog zum klassischen Prozess. Zur Vergärung (=Fermentation) werden lediglich spezielle Hefepilze benötigt, da neben der üblichen Glukose auch andere Zuckerarten wie Xylose oder Arabinose vergären können.

Die Technologie für eine direkte grosstechnische Anwendung ist allerdings derzeit noch nicht ausgereift oder wettbewerbsfähig, so dass Cellulose-Ethanol noch zu den biogenen Treibstoffen der zweiten Generation gehört. Wie die Holzvergasung ist auch die Nutzung von Ethanol als Treibstoffzusatz kein Phänomen der Neuzeit. Bereits im Zweiten Weltkrieg wurde der aus Holzzucker gewonnene Alkohol für den Fahrzeugantrieb genutzt. Scheinbar unerschöpfliche Erdölquellen liessen jedoch die Produktion in den 1950er Jahren versiegen. In kleinem Massstab produzierte die Borregaard Schweiz AG bis zu ihrer Schliessung Bioethanol aus Resten der Celluloseproduktion. Dabei handelte es sich um das sogenannte Ligninsubstrat, was in flüssiger Form vorlag und neben Lignin und Mineralstoffen auch

wertvolle, vergärbare Zucker enthielt. Diese liessen sich mit speziellen Hefen zu einer Maische fermentieren, die etwa 1,5 % Ethanol enthielt. Durch anschliessende Kondensation und Rektifikation (schrittweise Erhöhung des Alkoholgehaltes) wurde reines und hoch konzentriertes Ethanol abgetrennt. Aus 1000 kg Buchenholz wurden auf diesem Wege ca. 50 kg Ethanol gewonnen. Für die Borregaard Schweiz AG bedeutete dies eine Jahresproduktion von ca. 11 Mio. Liter (Seifried 2009). Davon konnte der Schweizer Markt problemlos gedeckt werden. Die Menge des im Jahre 2008 getankten Bioethanols lag bei vier Mio. Litern. Seit Schliessung des Werkes werden die benötigten Mengen zum grossen Teil aus dem europäischen Ausland bezogen (Anonymus 2009b).

5.4.3 Zukunftsaussichten der Holzvergasung und des Ethanols

Die Produktion biogener Treibstoffe wurde zwar in den letzten Jahren erheblich voran getrieben, allerdings lag der Anteil 2008 nur knapp über 1 % gemessen am gesamten Treibstoffverbrauch(Anonymus 2009b). Für eine flächendeckende und europaweite Realisierung solcher Anlagen, auch Bioraffinerien (engl. Biorefynery) genannt, bedarf es weiterer Forschung, aber auch Subventionen vom Staat. Eine derzeitige Um- und Durchsetzung gestaltet sich schwierig, da die Herstellkosten über denen ölbasierter Verfahren liegen. Zudem ist der Endpreis abhängig von der Holzmarktsituation. Tiefe Preise führen dazu, dass Holz in der Hoffnung auf bessere Zeiten eingelagert wird. Hohe Preise hingegen wirken sich sofort auf die Produktionskosten aus. Abhilfe könnten hier neben Fördergeldern auch Zugeständnisse der Forstwirtschaft schaffen. Dass dies funktioniert, bewiesen die Forstleute der ETH 1959, als sie zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von einheimischem Buchenzellstoff, das Holz direkt der Zellstoffherstellung zuführten.

5.4.4 Holz als Brennmaterial

Ungefähr 60 % des geernteten Laubholzes werden sogleich energetisch genutzt. Das ist zuviel und sollte zugunsten des Laubholzes als Rohstoff vermindert werden. Zumal eine Studie von Thees und Lemm (2009) belegt, dass der Wald höhere Mengen an Energieholz bereitstellen könnte, wenn nicht genutzte oder liegen gelassene Sortimente mit verwendet werden. Dabei handelt es sich überwiegend um Waldrestholz. Da im Moment bei Laubholz auch Stammholz besserer Qualität verbrannt wird, wäre bei einer besseren Ausnutzung des Waldrestholzes eine höhere Wertschöpfung des Laubholzes möglich, zumal beim Einschnitt des Holzes ebenso Reste entstehen, die energetisch genutzt werden können. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Restholz im Wald auch gewisse ökologische Funktionen erfüllt, eine Nutzung müsste dementsprechend mit Förstökologen abgestimmt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Neuverteilung gelingt, steht auch einem Einsatz als Brennholz nichts im Wege. Gerade für nicht stofflich verwertbare Reste ist es eine sinnvolle Verwendung, da es hilft, fossile Brennstoffe zu ersetzen.

Insgesamt werden in der Schweiz jährlich ca. 3,5 Mio.m³ Holz als Brennmaterial genutzt. Die Luftreinhalteverordnung klassifiziert dabei Holzbrennstoffe:

- Naturbelassenes stückiges Holz, einschliesslich anhaftender Rinde (Bsp.: Scheitholz, bindemittelfreie Holzbriketts, Reisig und Zapfen)
- Naturbelassenes nicht stückiges Holz (Bsp.: Hackschnitzel, Späne, Sägemehl, Schleifstaub oder Rinde)
- Restholz aus der holzverarbeitenden Industrie und dem holzverarbeitenden Gewerbe sowie von Baustellen, soweit das Holz nicht druckimprägniert ist und keine Beschichtung aus halogenorganischen Verbindungen enthält

und übrige Brennstoffe aus Holz:

- Altholz aus Gebäudeabbrüchen, Umbauten, Renovationen und Altholz aus Verpackungen oder alte Holzmöbel sowie Gemische von Altholz mit Brennstoffen
- Alle übrigen Stoffe aus Holz wie:
  →Altholz oder Holzabfälle, die mit Holzschutzmitteln nach einem Druckverfahren imprägniert wurden oder Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen aufweisen
  → Mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol intensiv behandelte Holzabfälle oder Altholz
  → Gemische von solchen Abfällen mit Holzbrennstoffen

Das Holz stammt somit aus dem Wald, der Schnittholzproduktion oder von Altlasten. Durch verschiedene Anlagen ist es möglich, das Holz in unterschiedlichen Formen zu nutzen. In Frage kommen hierfür Scheit- oder Stückholz, Hackschnitzel, Pellets oder Briketts. Stückholzheizungen stehen in der Beliebtheitsskala trotz aufwändiger Bedienung und Wartung immer noch an erster Stelle, aber auch Anlagen für Hackschnitzel und Pellets konnten in den letzten Jahren zulegen, wie aus einer Statistik der Holzenergie Schweiz hervorgeht:

Tab. 5-10: Holzenergiestatistik für die Schweiz von 1990 – 2008 (Holzenergie 2009)

Anlage	Jahr	Anzahl Anlagen	Energieholzverbrauch [m³]
Stückholzheizungen	1990	689.184	2.416.030
	2008	652.708	1.469.028
Schnitzelheizungen	1990	3.510	627.000
	2008	9.631	1.547.824
Pelletheizungen	1990	0	0
	2008	14.883	225.235
Altholzheizungen	1990	24	259.920
	2008	44	418.802

Störungsfreie, effiziente und emissionsarme Verbrennungen sind jedoch nur unter Berücksichtigung der energetischen Eigenschaften und unter Einbehaltung bestimmter Bedingungen des Holzes möglich. Der nächste Abschnitt geht daher auf den eigentlichen Verbrennungsprozess, Unterschiede zwischen Laub- und Nadelholz sowie Einflussfaktoren ein.

Verbrennungsprozess, Heizwerte und Einflussfaktoren

Grundsätzlich gliedert sich der Prozess in eine endotherme (Reaktion unter Wärmeaufnahme) und eine exotherme (Reaktion unter Wärmeabgabe) Verbrennung, wobei das Holz folgende Phasen durchläuft und Energien freisetzt:

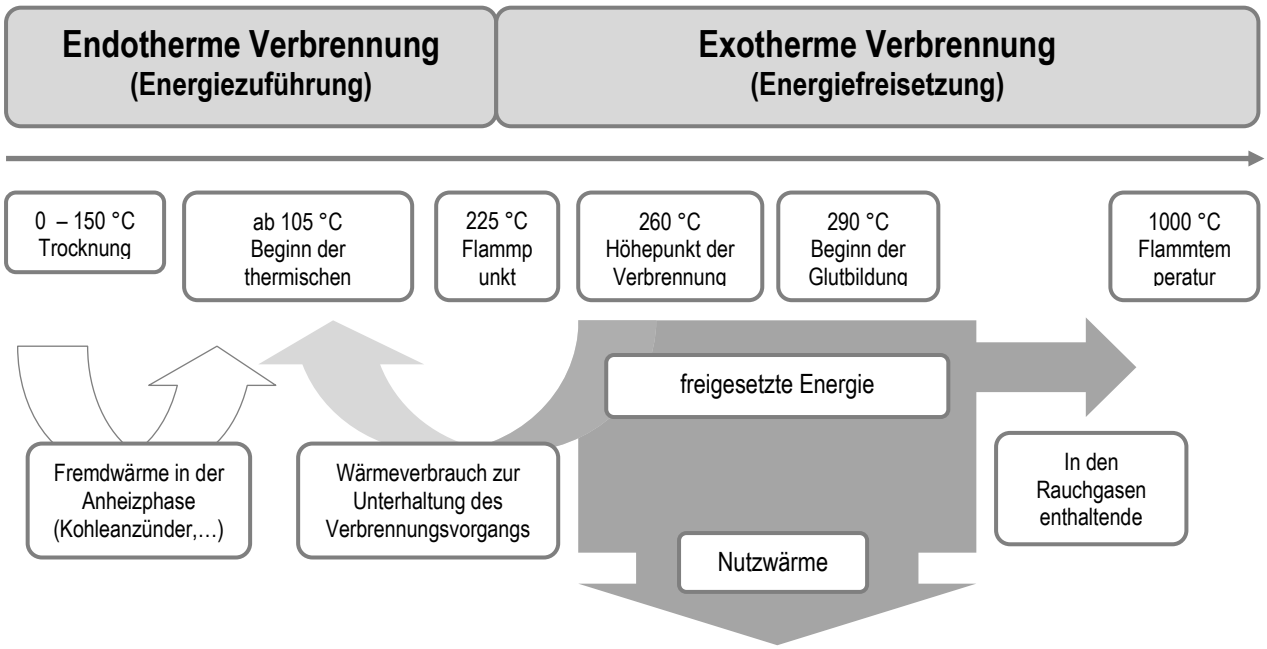


Abb. 5-18: Verbrennungsverlauf und Energiefluss (Marutzky und Seeger 1999; Gutwasser 2005)

Masse für die Verbrennung sind der Brenn- und der Heizwert. Der Brennwert beschreibt die freigesetzte Wärme pro kg absolut trockenes (=atro) Holz. Ausschlaggebend ist jedoch meist der Heizwert, definiert als freigesetzte Wärme pro kg feuchtes Holz. Entscheidenden Einfluss auf beide Grössen hat der Feuchte- oder Wassergehalt des Holzes. Im Zusammenhang mit dem Heizwert wird zudem der Wassergehalt angegeben, der sich anders als die Holzfeuchte nicht auf das Darrgewicht, sondern auf das Frischgewicht des Holzes bezieht. Für einen idealen Ausbrand benötigen die meisten Feuerungsanlagen lufttrockenes (=lutro) Holz, d.h. Holzfeuchten von 15 – 20 %. Dieser Zustand kann nach dem Fällen des Holzes durch entsprechende Lagerung im Freiland erreicht werden. Völlig trockenes oder absolut trockenes sollte vermieden werden, da Wasser bei einigen Ausbrandreaktionen beteiligt ist. Zu hohe Holzfeuchten und Wassergehälter allerdings verbrauchen in der ersten Phase der Verbrennung viel Energie zur Verdampfung des Wassers, wodurch der Heizwert herabgesetzt wird. Weiterhin führen sie zu niedrigeren Verbrennungstemperaturen, die wiederum einen unvollständigen Ausbrand sowie Abgase mit Schadstoffen und stechenden Gerüchen verursachen. Folgende Tabelle verdeutlicht den Einfluss der Holzfeuchte auf den Heizwert und die Verbrennungstemperatur:

Tab. 5-11: Verbrennungswert und Heizwert in Abhängigkeit von der Feuchte (Marutzky und Seeger 1999)

Holzfeuchte [%]	Verbrennungstemperatur [°C]	Heizwert [MJ/kg]
0	1200	17,6
11	1150	15,6
25	1100	13,6
43	1040	11,6
67	960	9,6
100	870	7,6

Neben der Holzfeuchte spielt auch die Anatomie der Holzart eine entscheidende Rolle. Einfluss auf den Verbrennungsprozess haben vor allem die Rohdichte, die Zusammensetzung und verschiedene Bestandteile des jeweiligen Holzes. Niedrigere Rohdichten wie bei Fichte oder Kiefer verursachen eine hohe Entzündlichkeit und schnelle Brenngeschwindigkeiten. Hölzer mit hoher Rohdichte wie z.B. Buche oder Eiche zeichnen sich durch ein langsameres und damit längeres Abrennen aus. Je nach Bezug des Heizwertes auf das Gewicht oder das Volumen des Holzes ergeben sich für Nadel- und Laubholz unterschiedliche Werte. Aufgrund des hohen Gehaltes an Lignin und Harzen besitzen Nadelhölzer durchschnittlich einen 5 % höheren (Marutzky und Seeger 1999) Heizwert bezogen auf das Gewicht. Nadelholz weist somit bei einer Holzfeuchte von 0 % einen Heizwert von ca. 5,4 Kilowattstunden (kWh) pro Kilogramm auf im Gegensatz zu Laubhölzern mit nur 5 kWh. Wird allerdings das Volumen als Grundlage herangezogen, so weisen die Laubhölzer aufgrund ihrer höheren Dichte die besseren Werte auf. Das zeigt sich auch bei Hackschnitzeln, wo der Energiegehalt von einem Schüttkubikmeter Nadelholz um bis zu 30 % niedriger ist als von einem Hartlaubholz (Verscheure 1998). In der nachstehenden Tabelle sind die Heizwerte einiger Nadel- und Laubhölzer bezogen auf ein Kilogramm, einen Fest[3]-, Raum[4]- und Schüttraummeter[5] bei einer Holzfeuchte von 15 % erfasst. Gleichzeitig werden die Heizwerte für Holzpellets und für einen direkten Vergleich zu fossilen Brennstoffen jene von Heizöl und Erdgas aufgeführt.

Tab. 5-12: Heizwerte verschiedener Nadel- und Laubhölzer je Kilogramm, Fest-, Raum- und Schüttraummeter im Vergleich mit Heizöl und Erdgas (nach Bayerischer Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2007)

Heizwert [kWh]	Holzarten oder -materialien						Fossile Brennstoffe	
je	Fichte	Kiefer	Pappel	Buche	Eiche	Pellets	Heizöl	Erdgas
Kilogramm	4,32	4,32	4,15	4,15	4,15	4,90	11,0…11,6	10,6
Kubikmeter							10,0	8,9…11,7
Festmeter	1.925	2.189	1.723	2.723	2.786	3.250	/	/
Raummeter	1.348	1.533	1.206	1.906	1.951	/	/	/
Schüttraumm.	770	876	689	1.951	1.115	/	/	/

Ungefähr 2,3 bis 2,5 kg Scheitholz oder 2,05 kg Holzpellets entsprechen 1 Liter Heizöl. Anders ausgedrückt besitzt ein Raummeter Hartlaubholz den gleichen Heizwert wie 230 Liter Heizöl. Der Heizwert von Holz je Kilogramm ist im Vergleich zu Erdgas oder Heizöl zwar niedriger, allerdings ist es ca. 40 % günstiger. Ausserdem gibt Holz bei der Verbrennung nur die Menge an Kohlendioxid frei, die es während seines Lebenszyklus gespeichert hat, womit die CO_2-bilanz bedeutend besser ausfällt.

Holzpellets

Seit Anfang 2010 werden im europäischen Ausland die Eigenschaften von Holzpellets in der EN 14961-2 (2010) einheitlich geregelt. Damit verlieren alle bisherigen Normen (SN 166000, ÖNorm M 7135, DIN 51731 und DIN plus) ihre Gültigkeit. In der Schweiz tritt die EN 14961-2 (2010) erst 2011 in Kraft (Holzenergie 2009; Anonymus 2010c), so dass bis dahin die SN 166000 (2001) anerkannt bleibt. Auf Basis dieser Norm wurde zudem ein neues

[3] Festmeter: ein Kubikmeter Holz ohne Stapelzwischenräume
[4] Raummeter: ein Kubikmeter geschichtete Holzmasse einschließlich der Hohlräume
[5] Schüttraummeter: lose geschüttete Holzmenge von einem Kubikmeter

Zertifizierungssystem entwickelt, welches sich in dem sogenannten EN-plus-Zeichen ausdrückt. Innerhalb der Produktnorm existieren die drei Qualtiätsklassen EN-plus-A1, EN-plus-A2 und EN-plus-B, welche sich u.a. in den einsetzbaren Rohstoffen, den zulässigen Grenzwerten für den Aschegehalt, den Heizwert, Stickstoff- und Chlorgehalt sowie dem Ascheschmelzverhalten unterscheiden. Grob betrachtet entspricht A1 der Din-plus-Qualität, A2 gestattet einen etwas höheren Aschegehalt und B ist mit den bisherigen Industriepellets zu vergleichen. In keiner Kategorie ist es allerdings erlaubt, chemisch behandeltes Holz einzusetzen. Mit den EN-plus-Zeichen wird einerseits den Anforderungen der bisher etablierten DIN-plus-Qualität für Premiumpellets entsprochen, anderseits wurden weitergehende EU-Vorgaben einbezogen.

Nach DIN plus sind in der Schweiz derzeit vier Pellethersteller zertifiziert, viele weitere produzieren allerdings bereits nach diesem Qualitätsstandard. Das Label Swisspellet, welches eine zu 100 % einheimische Rohstoffbasis bescheinigt, existiert in dieser Form nicht mehr. Nach Aussage der Holzenergie Schweiz ist jedoch eine Wiedereinführung jederzeit möglich.

Der Mindestheizwert nach der neuen EN 14961-2 (2010) liegt für A1 und A2 Qualitäten bei 16,5 MJ/kg. Grundsätzlich werden die Pellets aus Sägemehl und Schleifstaub durch mechanischen Druck hergestellt. Bisher konnte dafür nur Nadelholz verwendet werden, allerdings laufen zurzeit Untersuchungen zum Einsatz von Laubholz. Allerdings sinkt der Heizwert von Pellets, wenn an Stelle Fichte/Tanne Buche eingesetzt wird. Das haben Untersuchungen der AEK Pellet AG ergeben. Nur mit geringen Buchenanteilen in Holzpellets kann die DIN plus-Norm, was den Heizwert betrifft, erreicht werden. Zudem existieren Entwicklungen, Hackschnitzel so weit zu veredeln, dass sie in Grösse und Feuchtigkeit Pellets entsprechen. Für diese sogenannten Naturpellets soll nur Laubholz gebraucht werden, womit Heizwerte von ca. 17,3 MJ/kg möglich wären (Anonymus 2010b). Zudem wurden Untersuchungen an Holzpellets aus Blattlaub durchgeführt. Die von der Ruhranalytik Laboratorium für Kohle und Umwelt GmbH ermittelten Brenneigenschaften ergaben Heizwerte, die über denen handelsüblicher Ware lagen (Anonymus 2010a). Besonders interessant ist der Brennstoff, da Laub gerade zu Beginn der Heizperiode in grossen Mengen (ca. 1 Tonne pro 100 Einwohner) anfällt und sich so effektiv und umweltfreundlich verwerten liesse.

Abb. 5-19: Holzpelletlager (www.erdgaszuerich.ch)

Holzheizkraftwerke in der Schweiz

Viele Holzverarbeiter integrieren in ihren Betrieb Holzfeueranlagen oder Schnitzelheizungen. Auf diese Weise lassen sich Holzreste zur Deckung des eigenen Wärme- und Energiebedarfs nutzen. Grosse Holzheizkraftwerke sind in der Lage, ganze Stadtgebiete zu versorgen. In der Schweiz sind bereits zwei dieser Anlagen in Betrieb. Eines davon steht in Domat/Ems im Kanton Graubünden. Mit einem Verbrauch von ca. 260.000 t Holz pro Jahr ist es gleichzeitig das grösste Biomassekraftwerk seiner Art in Mitteleuropa. Aus der Menge lassen sich 125.000 MWh Strom und 200.000 MWh Dampf- und Fernwärmeenergie erzeugen. Seit 2008 produziert ferner das Holzkraftwerk Basel AG 100.000 MWh Wärme und 20.000 MWh Strom aus 80.000 t Wald-, Rest- und Altholz. Der Start einer weiteren Anlage ist für 2010/2011 in Aubrugg im Kanton Zürich geplant; sie wird in die seit 1977 bestehende mit Öl und Gas betriebene Heizzentrale integriert. Die benötigte Holzmenge soll zu 80 % aus Waldhackschnitzeln und Durchforstungsholz und zu 20 % aus Landschaftspflegeholz und unbehandeltem Restholz gedeckt werden, wobei der jährliche Bedarf auf 100.000 t geschätzt wird. Inwieweit eine Beschaffung dieser Menge über längere Zeit gewährleistet ist, ist derzeit unklar, zumal 2012 ein weiteres Holzheizkraftwerk bei Bern in Betrieb genommen wird. Dort wird zum Teil auch Altholz verwertet werden, realisierbar durch moderne Filtertechnologien. Zu 60 % wird jedoch auch hier Frischholz verwendet werden, bestehend zu drei Vierteln aus Laub- und einem Viertel aus Nadelholz (Schwyzer 2009). So fortschrittlich derartige Anlagen zur Verwertung von Holzresten auch sind: von der angestrebten Kaskadennutzung bei Laubholz kann bei dieser Verteilung nicht die Rede sein. Zumal für Anlagen dieser Grössenordnung Holzmengen benötigt werden, die durch nähere Waldregionen nicht über längere Zeiträume bereit gestellt werden können. Mit kleineren dezentralen Anlagen liessen sich weite Transportwege sparen und auch kleinere Holzbetriebe hätten die Möglichkeit, ihre Holzreste abzugeben.

6 ANALYSE DER EINSATZVORAUSSETZUNGEN FÜR LAUBHOLZRESTE ANHAND EINER BEFRAGUNG

6.1 Intention und Struktur der Befragung

Abgesehen von den im Wald anfallenden minderwertigen Sortimenten, ist es vor allem die nach der Fällung nächste Verarbeitungstufe (Sägewerke oder andere Holzverarbeiter), welche Holzreste hervorbringt. Literaturangaben wie in Kapitel 4.4 sind oft allumfassend und repräsentieren aufgrund der Mehrzahl an Nadelholzsägewerken für Laubholz nur unzureichende und ungenaue Ergebnisse. Um die Menge der in der Schweiz anfallenden Holzreste abschätzen zu können, wurde eine Umfrage unter relevanten Laubholzsägewerken der Schweiz durchgeführt.

Für die Befragung wurden insgesamt 16 Laubholzsägewerke, ein Furnier-/Sperrholzproduzent und ein Stielhersteller der Schweiz sowie ein Grosssägewerk ansässig in Österreich angeschrieben. Erstellt wurde ein Katalog von 13 Fragen (siehe 12 Anhang), welche die Firmen per Mail erhielten. Neben allgemeinen Fragen zu den Holzarten und Produktionsanlagen lag der Schwerpunkt auf der Restholzmenge und deren derzeitiger Nutzung. Gleichzeitig wurden die Säger zu ihren Erfahrungswerten zur Schnittholzausbeute befragt, da diese Angaben in derzeitigen Literaturquellen kaum zu finden sind.

An der Befragung haben zehn Schweizer Betriebe teilgenommen, darunter die beiden Hersteller für Furnier/Sperrholz und Stiele sowie das in Österreich angesiedelte Grosssägewerk. Ein Betrieb konnte den Bogen aufgrund zu geringer Verarbeitungsmengen und fehlender Erhebungen nicht ausfüllen, unterstützte die Aussagekräftigkeit jedoch mit einer per e-Mail gesendeten Stellungnahme. Die Laubholzsägewerksstruktur und auch die eingeschnittene Holzmenge ist in der Schweiz im Verhältnis zu anderen europäischen Ländern sehr klein (max. 22.000 m³/Jahr). Einige der Unternehmen konnten daher nur lückenhafte Antworten bei zu detaillierten Fragen geben. Im folgenden werden die Resultate der Befragung erläutert. Die Ergebnisse der Schweizer Betriebe werden zum Teil getrennt von dem Grosssägewerk aus Österreich dargestellt, um die Situation der jeweiligen Länder unverfälscht aufzeigen zu können. Im Anschluss werden zudem persönliche Anregungen und Meinungen der Teilnehmenden zum Thema wiedergegeben.

6.2 Fragenauswertung

Anmerkung: Die Namen der Firmen werden nicht genannt, sondern mit laufenden Ziffern von 1-10 aufsteigend nach der Einschnittmenge an Laubholz bezeichnet. Das Grosssägewerk läuft bei Abkürzung unter der Benennung „G“.

6.2.1 Auswertung allgemeiner Betriebsangaben

Menge des eingeschnittenen Laubholzes

Die jährliche Menge des eingeschnittenen Laubholzes variierte bei den zehn teilnehmenden Schweizer Sägewerken von unter 250 bis 22.000 m³. Die durchschnittliche Einschnittmenge beträgt 5333 m³/Jahr, der Gesamteinschnitt aller entsprechend 53.330 m³/Jahr. Lediglich zwei Unternehmen schneiden über 15.000 m³ ein, die restlichen Angaben liegen zwischen ca. 250 bis 7.000 m³. In ganz anderen Dimensionen bewegt sich dagegen das Grosssägewerk aus Österreich (150.000 m³).

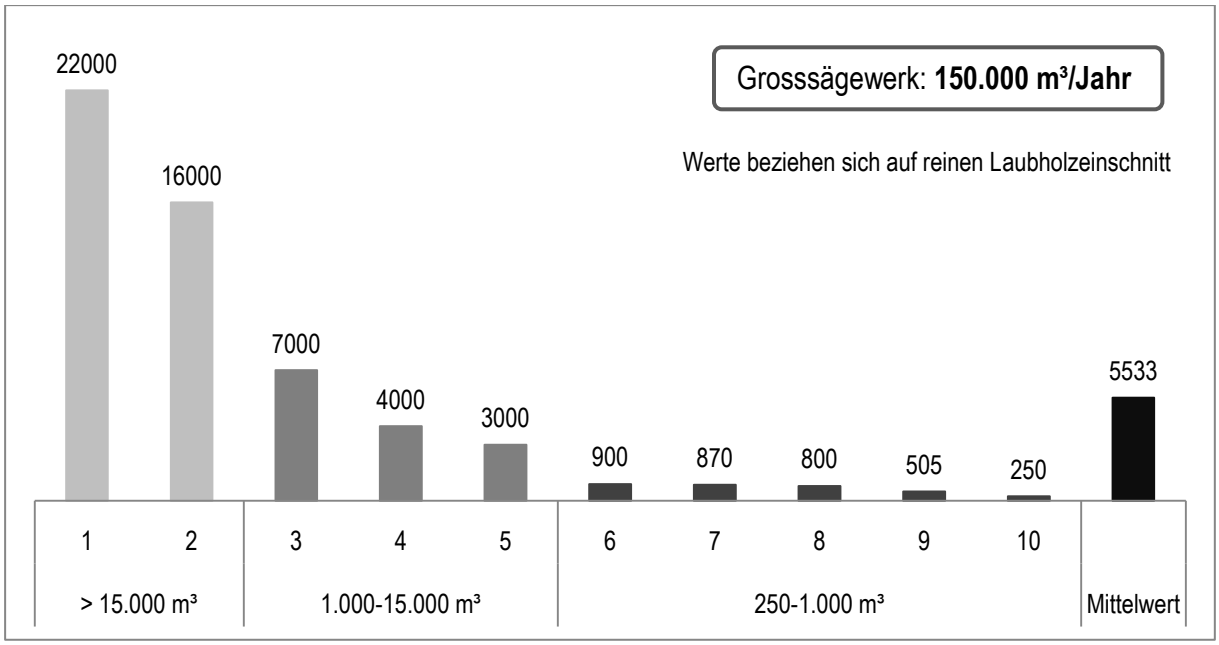


Abb. 6-1: Einschnittmengen und Mittelwert aller Einschnittmengen [m³/Jahr] an Laubholz (gerundete Werte)

Holzarten und deren Herkunft

Bezüglich der Holzarten und deren Herkunft standen von zehn Unternehmen verwertbare Angaben bereit. Lediglich ein Schweizer Sägewerk gab keine Auskunft dazu.

Der Aufteilung der einzelnen Holzarten (Abb. 6-2) ist zu entnehmen, dass Buche ohne Rotkern mit 38,3 % die meist verarbeitete Holzart ist, gefolgt von Eiche mit 22,7 % und Esche mit 14,0 %. Getrennt erfragt wurde der Anteil an rotkerniger Buche, welcher immerhin 9,6 % des Gesamteinschnittes ausmacht. Das Grosssägewerk schneidet zu 100 % Buche ein.

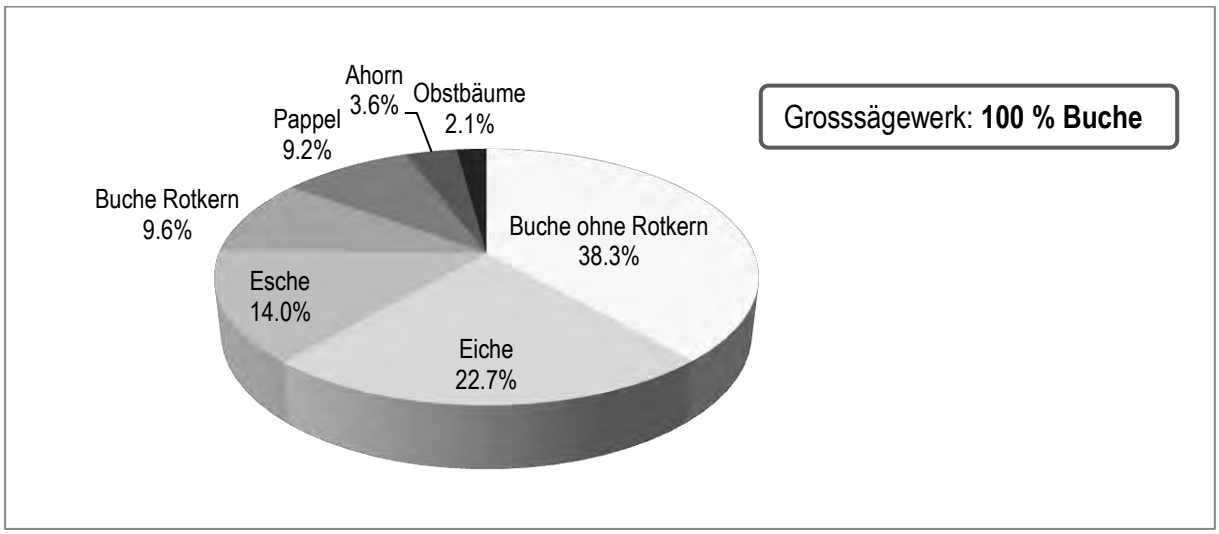


Abb. 6-2: Anteile der Holzarten am Gesamtlaubholzeinschnitt

Als Herkunftsländer der einzelnen Holzarten gaben die Schweizer Betriebe die Schweiz, Frankreich und Deutschland an. Das Grosssägewerk bezieht ausser aus Deutschland aufgrund seines Standortes Rundholz aus Österreich, aber auch aus Osteuropa.

Auffällig war, dass der grösste Teil des Holzes aus der Schweiz bezogen wird. Für die Buche gaben alle Schweizer Sägewerke die Schweiz als Einkaufsland an. Lediglich ein Betrieb bestellt Buche auch in Frankreich und ein anderer im deutschen Elsass. Rotkernige Buche wird nur aus der Schweiz verarbeitet. Die restlichen Holzarten zeigen ein ähnliches Bild: auch hier wird als Herkunftsland stets die Schweiz und nur sporadisch Frankreich genannt.

Produktionsanlagen

Insgesamt neun Betriebe äusserten sich zu den ihnen zur Verfügung stehenden Produktionsanlagen. Die Hauptmaschine für den Einschnitt ist nach wie vor die Blockbandsäge (sechs Betriebe= 67 %), gefolgt vom Gatter (drei Betriebe= 33 %). Das Grosssägewerk nutzt neben einer Blockbandsäge zusätzlich andere Bandsägetypen. Über die Hälfte (fünf Betriebe= 56 %) der zur Verfügung stehenden Aussagen bescheinigt die Verwendung einer Kreissäge. Zerspaner, Profilieraggregate und Pelletiervorrichtungen werden jeweils nur von einem Unternehmen eingesetzt. Gebräuchlich dagegen sind Hobelmaschinen (sieben Betriebe= 78 %) und Trocknungsanlagen (acht Betriebe= 89 %). Eigene Heizanlagen besitzen sogar alle neun Betriebe, was auf eine Holzresteverwertung direkt vor Ort hinweist.

Tab. 6-1: Produktionsanlagen der befragten Unternehmen

Produktionsanlage	nutzende Betriebe	
	Anzahl	Prozent [%]
Blockbandsäge	6	67
Andere Bandsägetypen	1	11
Gatter	3	33
Kreissäge	5	56
Trocknungsanlage	8	89
Hobelmaschine	7	78
Zerspaner	1	11
Profilieraggregate	1	11
Pelettierung	1	11
Heizanlagen	9	100
Sonstige	Sperrholzproduktionsanlage; Beleimungs-, Dämpf-, Brikettieranlage; Anlagen zur Herstellung von Ein- und Dreischichtplatten und Parkett	

Schnittholzausbeute

Bei einem Blick in die Fachliteratur wird schnell ersichtlich, dass die Verarbeitungstechnologie von Laubholz im Gegensatz zum Nadelholz nur unzureichend behandelt wird. Viele Kennwerte oder auch Erhebungen sind auf Nadelholz ausgerichtet. Auch bezüglich der Schnittholzausbeute sind keine konkreten Angaben zu finden, wohingegen für Nadelholz Diagramme und Zahlenwerte existieren. Aus diesem Grunde wurden die angeschriebenen Betriebe gebeten, die ihrer Erfahrung nach minimale, maximale und durchschnittliche Schnittholzausbeute anzugeben (Abb. 6-3).

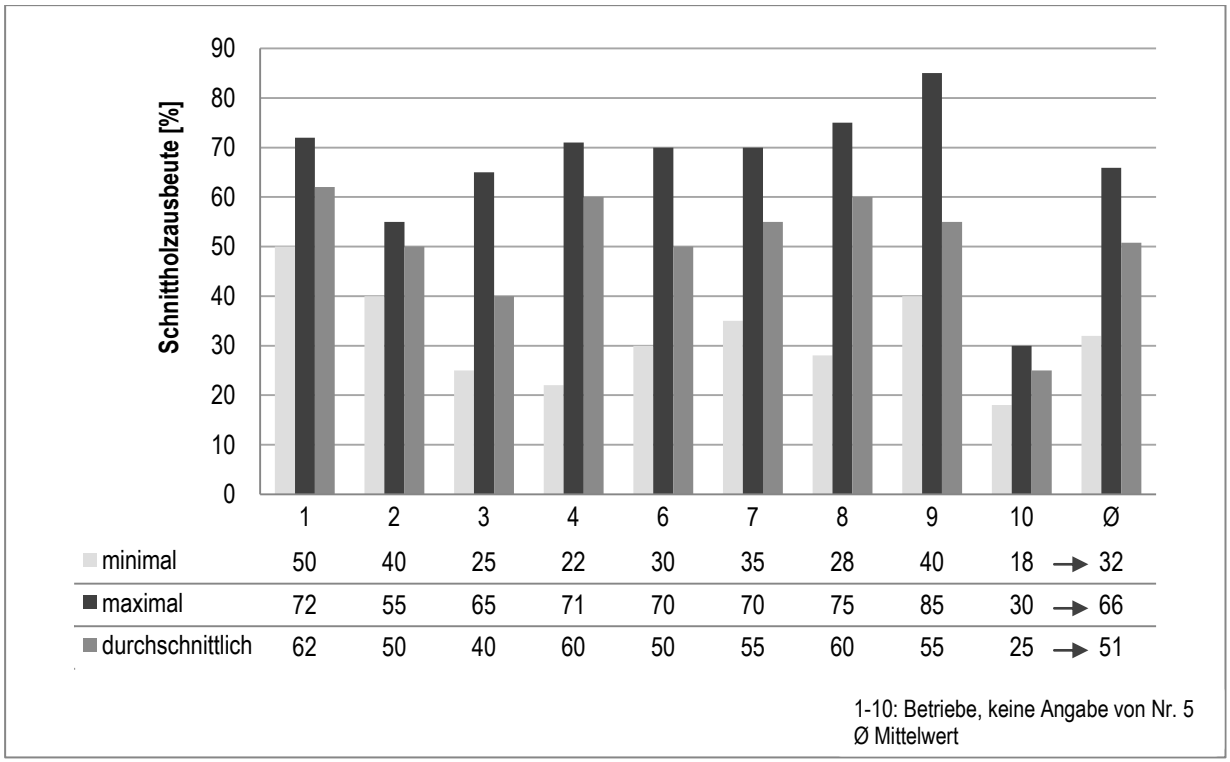


Abb. 6-3: Erfahrungswerte der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Schnittholzausbeute von neun auswertbaren Betrieben

Festzustellen ist, dass die Spanne zwischen minimaler und maximaler Ausbeute mitunter sehr gross ist und auch die Meinungen auseinander gehen. Die Angabe der niedrigsten Ausbeute schwankt zwischen 18 und 50 %. Hintergrund könnten die Haupterzeugungsprodukte der Firmen sein. Bei Spezialisierung auf einen oder wenige Artikel, die bestimmte Qualitäten und Dimensionen verlangen, kann mitunter ein Stamm nicht vollständig genutzt werden. Werden dagegen verschiedene Sortimente angeboten, kann das Rundholz flexibler an die unterschiedlichen Anforderungen von Güte und Grösse angepasst werden. Die minimale Ausbeute von 18 % stammt von einem Hersteller für Parkett und keilgezinkten Böden. Im Durchschnitt liegt die minimale Ausbeute bei 32 %, wobei fünf Unternehmen Werte darunter (18 %, 22 %, 25 %, 28 %, 30 %) und vier Werte darüber nennen (35 %, 2x 40 %, 50 %). Die maximalen Schnittholzausbeuten zeigen mit Angaben von 30 – 85 % eine noch stärkere Streuung. Jedoch sind es lediglich zwei Angaben, die besonders stark abweichen (30 % und 50 %). Auch hier kann vermutet werden, dass der Grund in den Endprodukten liegt. Die 30 %-Angabe stammt vom erwähnten Parkettthersteller, welcher auch die niedrigste minimale Ausbeute (18 %) angab. Der Wert von 50 % wurde von einem Produzent für Sperrholz genannt. Die restlichen Ausbeuten (65 – 85 %) sind vergleichbar mit mittleren Ausbeuten von Nadelholz (65 – 71 %). Zu beachten ist jedoch, dass es sich hierbei um maximale und bei den für Nadelholz in der Literatur angegebenen Zahlen um mittlere Ausbeuten handelt. Dass Laubhölzer eine geringere Ausbeute aufzuweisen scheinen, zeigen die durchschnittlichen Angaben der Betriebe, welche von 25 bis 62 % variieren, wobei die 25 %-Angabe eine Ausnahme darstellt, da die restlichen Erfahrungswerte zwischen 40 – 62 % liegen. Unter Einberechnung der 25 %-Angabe liegt der Mittelwert bei 51 %. Doch selbst unter Vernachlässigung dieser ist lediglich ein Anstieg um 2 % auf einen Wert von 53 % zu verzeichnen, was immer noch beträchtlich von den mittleren Ausbeuten für Nadelholz abweicht.

6.2.2 Auswertung der Fragen zur Restholzthematik

Schnitt- und Restholzmenge

Neun der elf teilnehmenden Unternehmen gaben Auskunft zu den mittleren jährlichen Mengen an Schnitt- und Restholz (Tabelle 6-2). Nicht immer erfolgte die Angabe in m³ und %. Diese Werte wurden aus den zur Verfügung stehenden Daten berechnet, jedoch in der Tabelle zur Abgrenzung grau aufgeführt. Anzumerken ist, dass drei der Sägewerke zusätzlich Nadelholz verarbeiten. Sie werden separat aufgeführt.

Tab. 6-2: Jährliche durchschnittliche Schnitt- und Restholzmengen und –anteile in m³ und % aufgeteilt in reine Laubholz- sowie Laub- und Nadelholzverarbeiter. Grau geschriebene Werte mittels Berechnung bestimmt, da keine Angabe im Fragebogen

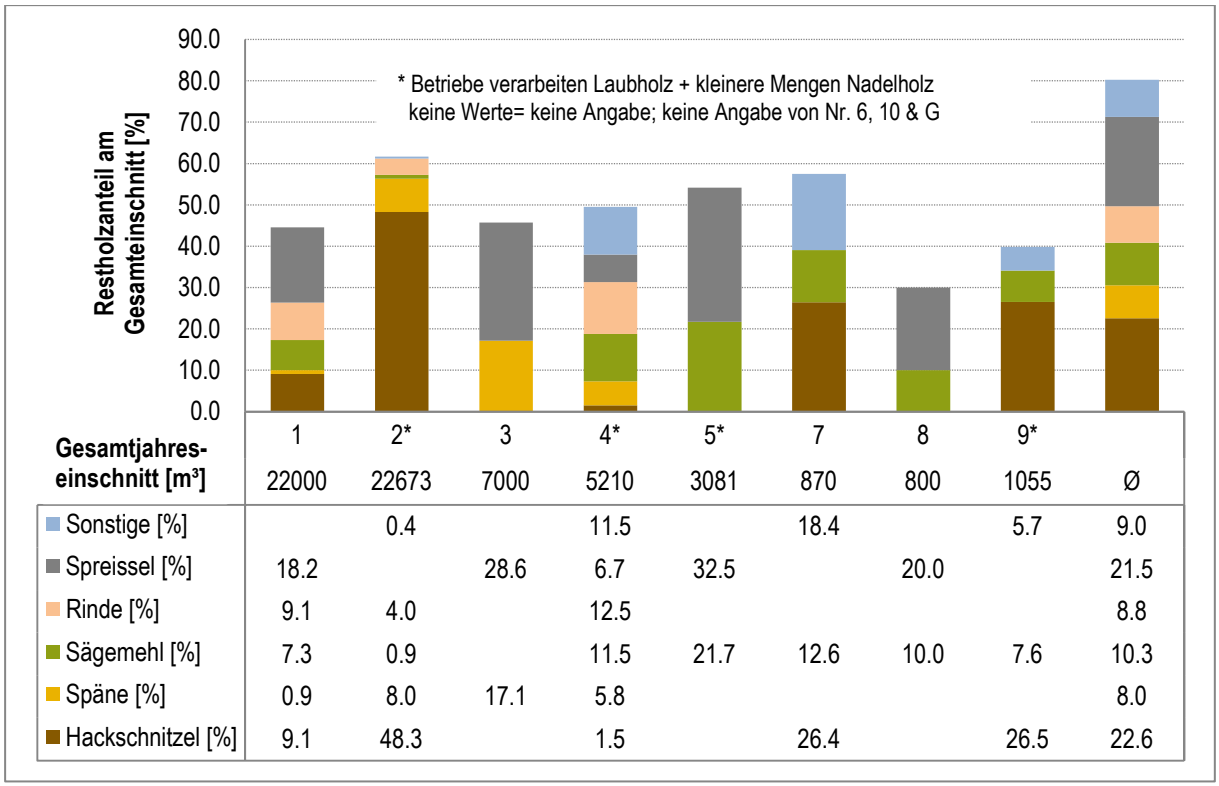
Laubholzbetrieb*	Schnittholzmenge		Restholzmenge	
	[m³]	[%]	[m³]	[%]
Grosssägewerk	65.000-70.000	70	45.000	30
1	12.400	62	7.600	38
3	4.500	64	2.500	36
6	150-750	50	150-750	50
7	540	62	330	38
8	480	60	240	30
Mittelwert		**61**		**37**
Laub- und Nadelholzbetrieb*	**Schnittholzmenge**		**Restholzmenge**	
	[m³]	[%]	[m³]	[%]
2	9.100	50	9.100	50
4	3.600	60	2.400	40
9	750	70	420	40
Mittelwert		**60**		**43**

*keine Angaben von Unternehmen 5 und 10

Der mittlere Schnittholzanteil der reinen Laubholzbetriebe beträgt 61 %, derjenige der zusätzlich Nadelholz verarbeitenden Betriebe 60 %. Aus den angegeben bzw. berechneten Werten für die Restholzanteile ergaben sich 37 % für die Laubholz- und 43 % für die Laub- und Nadelholzverarbeiter. Gründe für die Unterschiede sind einerseits der aus nur drei Unternehmen gebildete Mittelwert, anderseits die damit verbundene stärkere Gewichtung der Restholzmenge von 50 % des Sperrholzproduzenten. Hinzu kommt, dass die Summen aus Schnitt- und Restholzanteil aus den angegebenen Daten der Betriebe nicht immer 100 % ergeben und damit die Mittelwerte etwas verschieben. Wird dieser aus allen Betrieben berechnet, so ergibt sich ein mittlerer Schnittholzanteil von 60,5 % sowie ein Restholzanteil von 40 %.

Mengen der Restholzsortimente

Grundlage für die Auswertung der Sorten und Mengen des Restholzes bildeten Daten von acht Betrieben. Ein Unternehmen nannte lediglich die Sorten ohne die Angabe von Mengen. Zwei Sägewerke äusserten sich nicht dazu, wovon eines das Grosssägewerk war. Abb. 6-4 ist die Verteilung der einzelnen Restholzsortimente im Verhältnis zum Gesamtjahreseinschnitt zu entnehmen. Unterschiede zu Tab. 6-4 können sich ergeben, da es sich in der Tabelle um durchschnittliche und im Diagramm um tatsächlich erhaltene Werte handelt.



Gesamtjahres-einschnitt [m³]	1	2*	3	4*	5*	7	8	9*	
	22000	22673	7000	5210	3081	870	800	1055	Ø
Sonstige [%]		0.4		11.5		18.4		5.7	9.0
Spreissel [%]	18.2		28.6	6.7	32.5		20.0		21.5
Rinde [%]	9.1	4.0		12.5					8.8
Sägemehl [%]	7.3	0.9		11.5	21.7	12.6	10.0	7.6	10.3
Späne [%]	0.9	8.0	17.1	5.8					8.0
Hackschnitzel [%]	9.1	48.3		1.5		26.4		26.5	22.6

Abb. 6-4: Sorten und Anteile des Restholzes im Verhältnis zum Gesamtjahreseinschnitt

Zu erkennen ist, dass die Werte sehr unterschiedlich ausfallen und keine Tendenzen in Bezug auf die Grösse eines Betriebes herrschen. Dieses Phänomen stellten auch schon Mantau et al. (2003) in einer Studie unter deutschen Laubholzsägewerken fest. Vielmehr ist anzunehmen, dass der entscheidende Faktor die Endprodukte und damit verbunden die Verarbeitungstechnologie sind. Es ist darauf hinzuweisen, dass einige der Unternehmen zusätzlich geringe Mengen an Nadelholz verarbeiten, wodurch es zu geringen Abweichungen zu den Einschnittmengen unter Kapitel 6.1.2 kommt, die sich nur auf Laubholz beziehen.

Mit durchschnittlich 22,6 % bilden Hackschnitzel den grössten Anteil der Restholzsorten, gefolgt von Spreisseln (21,5 %), Sägemehl (10,3 %), Rinde (8,8 %) und Spänen (8,0 %). Etwas differenziert ist die Kategorie „Sonstige“ zu betrachten, da neben Schleifstaub (0,4 %) und Brennholz (11,5 %) ein Betrieb eigentlich schon zur Weiterverarbeitung gehörende Briketts (5,7 %) nannte und ein weiterer auf Schälspäne + Rinde (18,4 %) hinwies, was sicherlich auf eine schwere Trennung beider aufgrund des geringen Gesamtjahreseinschnittes von 870 m³ zurückzuführen ist. Es konnte kein Unterschied festgestellt werden, ob von den Unternehmen nur Laubholz oder auch kleinere Mengen Nadelholz verarbeitet werden. Trotz der mitunter grossen Streuung der Einzelwerte entsprechen die Mittelwerte den Angaben von Fronius (1991):

Tab. 6-3: Vergleich der in der Umfrage ermittelten Anteile der Holzrestsortimente mit Angaben von Fronius (1991)

Holzrestsortiment	Fronius (1991) in [%]	Werte aus Umfrage in [%]
Hackschnitzel	20-50	22,6
Spreissel	8-22	21,5
Sägemehl	keine Angabe	10,3
Sägespäne	8-19	8,0
Rinde	ca. 10	8,8

Verwertung der Holzreste im eigenen Betrieb

Tab. 6-4 zeigt die Holzrestsortimente, welche von den Unternehmen selbst genutzt werden und deren Verwendungszweck.

Acht Unternehmen nutzen anfallende Holzreste im eigenen Betrieb. Drei Betriebe machten dazu keine Angaben. Die am meisten genutzte Holzresteart ist die Rinde (sechs Unternehmen), gefolgt von Hackschnitzeln, Spänen sowie Spreisseln (jeweils vier Unternehmen) und Sägemehl (drei Unternehmen). Verwertet wird hierbei meist nicht nur ein Sortiment, sondern mehrere gleichzeitig. Drei Unternehmen nutzen zwei, zwei Unternehmen drei und weitere zwei vier Holzrestarten zum eigenen Zweck. Eine verwertbare Aussage über die Höhe der genutzten Holzreste trafen vier Unternehmen. Gemessen an der Gesamtrestholzmenge verwenden diese ca. 21 %, 26-79 %, 61 % und eines sogar 100 %.

Die Frage nach der Nutzungsart ergab, dass Holzreste hauptsächlich genutzt werden, um Energie zu erzeugen. Sieben Unternehmen gaben diese Verwertungsoption an, davon vier als alleinige Folgenutzung. Lediglich drei dieser sieben Unternehmen nannten jeweils eine weitere Nutzungsart, von denen eine die Pelletierung ist und damit ebenso der Energiegewinnung dient. Ein Werk verwendet einen Teil der Holzreste zudem als Einstreu, das dritte verarbeitet sie weiter, nennt allerdings nicht die Art und Weise. Lediglich ein Betrieb der acht, die Holzreste selbst verwerten, gebraucht diese nicht energetisch, sondern verarbeitet die anfallenden Sortimente weiter. Keines der Werke setzt etwaige Holzreste zum Zwecke der Bodenabdeckung ein.

Tab. 6-4: Von den Betrieben selbst genutzte Holzrestsortimente und deren Verwertungsart

Holzrestsortiment	**Unternehmen**								
	G	**1**	**2***	**3**	**4***	**5***	**7**	**9***	**Anzahl Betriebe**
Hackschnitzel			x		x		x	x	4
Späne		x	x	x	x				4
Sägemehl		x	x					x	3
Rinde	x	x	x		x	x	x		6
Spreissel		x		x		x		x	4
Sonstiges			x						1
Anteil an Gesamtrestholzmenge [%]	*k. A.*	*26-79*	*61*	*k. A.*	*21*	*k. A.*	*k. A.*	*100*	
Nutzungsart	**Unternehmen**								
	G	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**9**	**Anzahl Betriebe**
energetisch	x	x	x	x	x		x	x	7
Bodenabdeckung									0
Weiterverarbeitung					x	x			2
Sonstige		x						x	2
Art		*Pelletierung*						*Einstreu*	

G= Grosssägewerk keine Angaben von Nr. 6, 8 & 10

* Betriebe verarbeiten Laubholz + kleinere Mengen Nadelholz

Verwertung der Holzreste durch Abgabe an Dritte

Die Unternehmen wurden im folgenden gebeten, eine Aussage über die Verteilung der Holzrestsortimente auf einzelne Weiterverarbeitungsbereiche (Spannplatten-, Faserplatten, Zellstoff-, Papierindustrie, chemische Industrie, Heizanlagen, Gärtnereien) und die jeweiligen Menge zu treffen (Tabelle 6-5).

Allgemein kann die Feststellung getroffen werden, dass wie bei der betriebsinternen Resteverwertung die Nutzung als Energieträger überwiegt. Acht der Unternehmen verkaufen einen Teil der Holzrestsortimente in Form von Hackschnitzeln, Spänen, Sägemehl und Spreisseln an öffentliche und private Heizanlagen. An zweiter Position folgt mit sechs Unternehmen der Verkauf von Hackschnitzeln, Spänen, Sägemehl und Spreisseln an die Spanplattenindustrie. Fünf Unternehmen gaben die Kategorie „Sonstige“ an, jedoch meist ohne Nennung der genauen Verwendungsart. Nur ein Sägewerk äusserte, Sägemehl an Holzhändler zu verkaufen. Die Abgabe an Gärtnereien nutzen vier Betriebe, allerdings vermutlich nur in Kleinanteilen (Angabe von zwei Werken von 0,66 und 1,25 %). Die Faserplatten- sowie die Zellstoff- und Papierindustrie wird von jeweils zwei Werken beliefert, von denen eines das Grosssägewerk ist. Leider traf das Grosssägewerk keine Aussagen zur Quantität, so dass kein Vergleich mit den kleinstrukturierten Betrieben der Schweiz vollzogen werden konnte. Auffällig ist jedoch, dass das Grosssägewerk alle der aufgeführten Verwertungsmöglichkeiten ausser der chemischen Industrie nutzt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass höhere Betriebskapazitäten eine effizientere und vielfältigere Resteabgabe (in Abhängigkeit der landesansässigen Industriezweige) an Dritte zulassen.

Tab. 6-5: Verwertung der Holzreste durch Abgabe an verschiedene Absatzzweige (Heizanlagen, Spanplatten-, Faserplatten-, Zellstoff- und Papierindustrie, Gärtnereien, chemische Industrie und Sonstige)

Absatzzweig	Unternehmen*									Anzahl Betriebe
	G	1	2*	3	4*	5*	6	7	8	
Heizanlagen	x	x	x	x	x	x	-	x	x	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	*k. A.*	*52*	*k. A.*	*80*	*42*	*83*	-	*k. A.*	*33*	8
Holzrestsortimente	*k. A.*	*H, Sä*	*k. A.*	*Sp, Spr*	*k. A.*	*Sä, Sp*	-	*H*	*H*	
Spanplatte	x	x	x	-	x	-	-	x	x	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	*k. A.*	*52*	*k. A.*	-	*10*	-	-	*k. A.*	*42*	6
Holzrestsortimente	*k. A.*	*Spr*	*H*	-	*Sp*	-	-	*H, Sä, Sp*	*Sä, Sp*	
Gärtnereien	x	x	-	-	x	-	-	x	-	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	*k. A.*	*0,66*	-	-	*1,25*	-	-	*k. A.*	-	4
Holzrestsortimente	*k. A.*	*k. A.*	-	-	*k. A.*	-	-	*k. A.*	-	
Faserplatte	x	-	x	-	-	-	-	-	-	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	k. A.	-	k. A.	-	-	-	-	-	-	2
Holzrestsortimente	k. A.	-	k. A.	-	-	-	-	-	-	
Zellstoff + Papier	x	-	-	-	-	-	-	-	x	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	*k. A.*	-	-	-	-	-	-	-	*25*	2
Holzrestsortimente	*k. A.*	-	-	-	-	-	-	-	*H*	
Chemische I.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Holzrestsortimente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sonstiges	x	x	-	-	x	-	x	x	-	
Anteil an Gesamtrestholz-menge [%]	*k. A.*	*1,32*	-	-	*4,17*	-	*k. A.*	*k. A.*	-	5
Holzrestsortimente	*k. A.*	*k. A.*	-	-	*k. A.*	-	*k. A.*	*Sä*	-	

G Grosssägewerk
x Abgabe an Dritte
- keine Abgabe an Dritte
k. A. Abgabe an Dritte, aber keine Mengenangabe
keine Angaben von Nr. 9 & 10
H Hackschnitzel Sp Späne
Sä Sägemehl Spr Spreissel
* Betriebe verarbeiten Laubholz + kleinere Mengen Nadelholz

Persönliche Meinungen und Ergänzungen zur Holzresteverwertung

Zunahme der energetischen Nutzung im eigenen Betrieb? Die Frage nach dem Anstieg der Nutzung des Restholzes für energetische Zwecke seit 2008 im eigenen Betrieb wurde von sieben Betrieben verneint und nur von einem Sägewerk bestätigt, dieses kann jedoch keine prozentuale Angabe machen.

Zunahme der energetischen Nutzung durch Abgabe an Dritte? Auch hier wurde die Unternehmen gebeten, eine Einschätzung zu geben, ob die Abgabemenge an Restholz für energetische Zwecke seit 2008 gestiegen ist. Die Mehrheit der Befragten (fünf Unternehmen) verneinten dies. Zwei Teilnehmer äusserten sich dazu nicht. Bejaht wurde die Frage von vier Unternehmen, darunter das Grosssägewerk. Es wurden prozentuale Anstiege von 15 %, 20 %, 30 % und 40 % angegeben (Tabelle 6-6).

Tab. 6-6: Antworten der Unternehmen auf die Frage, ob seit 2008 mehr Restholz für energetische Zwecke von Dritten aufgekauft wird, mit Angabe des prozentualen Zuwachses

Zuwachs seit 2008?	Unternehmen										
	G	1	2*	3	4*	5*	6	7	8	9	10
Antwort	ja	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	ja	/	/
Prozentangabe[%]	*30*	*20*			*40*				*15*		

G Grosssägewerk / keine Angaben von Nr. 9 & 10
* Betriebe verarbeiten Laubholz + kleinere Mengen Nadelholz

Dominiert die energetische Nutzung? Nach Meinung von sechs Unternehmen überwiegt derzeit die Verwertung von Holzresten für Energiezwecke. Vier Werke stimmen dem nicht zu, wovon sich eines allerdings gegen die energetische Nutzung als derzeitige Hauptnutzung, aber für eine kontinuierliche Zunahme ausspricht. Ein Werk äusserte sich nicht dazu.

Besteht Interesse, Resthölzer für weitere Zwecke einzusetzen, wenn diese geboten werden? Bei dieser Frage wurden vier Verneinungen, sechs Bejahungen und eine Stimmenthaltung ausgezählt. Argumente dagegen waren u. a.:

- Nicht logistisch darauf eingerichtet, kein Kerngeschäft
- Keine Trennung von Laub- und Nadelholzresten im Betrieb
- Keine Notwendigkeit

Unternehmen, die sich dafür aussprachen, äusserten folgende Ideen oder Meinungen:

- Alle Anwendungen denkbar, die der Erlösoptimierung dienen
- Erhöhung der Nutzung der Pelletierung, Ausbau der energetischen Nutzung zur Stromgewinnung
- Weitere Bereiche abhängig vom Preis
- Nutzung für Prozesswärme
- Zellstoffproduktion
- Nutzung für zusätzlichen Fernwärmeverkauf

6.2.3 Fazit Fragebogen

Aus den Fragebögen ging hervor, dass Laubholzsägewerke und –verarbeiter Holzreste im Moment hauptsächlich energetisch verwerten. Dabei kann festgehalten werden, dass kleinere Werke eine höhere prozentuale Menge gemessen am Gesamtrestholzaufkommen selber verwerten als grössere. Deutlich zeigt sich dies bei einem Blick auf das Grosssägewerk, was aufgrund seines hohen Holzresteaufkommens mehr Möglichkeiten nutzen kann, die Reste an Industrie- und Wirtschaftszweige abzusetzen. Allgemein auffällig ist, dass lediglich ein Schweizer Betrieb sowie das österreichische Grosssägewerk an die Zellstoff- und Papierindustrie liefert; Abgaben an sonstige chemische Industrie tätigt niemand. Das hängt vor allem damit zusammen, dass seit der Schliessung von Borregard kein Unternehmen im Bereich der Holzchemie in der Schweiz angesiedelt ist. Zudem ist die chemische industrielle

Nutzung von Holz in Mitteleuropa noch nicht etabliert. Den Meinungen ist zu entnehmen, dass der überwiegende Teil der Unternehmen eine stärkere energetische Nutzung anstrebt. Das wird auch der Grund für die Ablehnung einiger Betriebe sein, die Holzresteverwertung auszubauen. Da sich ein grosser Teil derzeit gut als Energieholz verkaufen lässt, besteht nach Meinung der Betriebe nicht die Notwendigkeit, andere Bereiche zu erobern.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Anhand der Recherche wird deutlich, dass Laubholzreste mehr Einsatzgebieten zugeführt werden können, als nur der derzeitig überwiegenden energetischen Nutzung. Ähnlich dem Restholz und den Holzresten aus Nadelholz können auch Laubholzrestsortimente Ausgangsstoff oder Komponente für Holzwerkstoffe, sonstige Werkstoffe oder chemische Produkte sein. Chancen bieten sich vor allem für die Herstellung von Span- und Faserplatten, WPC, Faserverbundwerkstoffen sowie die Zellstoffindustrie, die eng mit der chemischen Industrie verknüpft ist. Gerade Alternativen für erdölbasierende Kunststoffe werden im Zuge der Erdölverknappung immer wichtiger. Aufgespalten in die einzelnen chemischen Bestandteile (Cellulose, Hemicellulose, Lignin) können Laubholzreste Rohstoff für Biokunststoffe (z.B. Celluloseester, –ether, Greenline), innovative Biowerkstoffe (z.B. Arboform) oder Viskosefasern sein. Besonders das Gebiet der Holzchemie beinhaltet ungeahnte Potentiale. Viele Entwicklungen sind dabei schon mehrere Jahrzehnte alt, gerieten jedoch durch die Entdeckung des Erdöls und der damit verbundenen synthetischen Kunststoffproduktion und den zunehmenden Einsatzes als Energieträger in Vergessenheit.

Für die Realisierung solcher Einsatzmöglichkeiten bedarf es jedoch bestimmter Voraussetzungen. Gerade in der Schweiz wird dies aufgrund der kleinstrukturierten Sägewerksindustrie nicht sehr einfach sein. Aus der Umfrage ging hervor, dass sich der Absatz von Holzresten an die Industrie erst bei grösseren Sägewerken zu lohnen scheint. Zudem besteht zurzeit für die Betriebe kein Bedarf, nach Alternativen zu suchen, da die Verwertung in Holzheizanlagen und -kraftwerken mehr denn je Zuspruch findet und Holzreste ohne Probleme abgenommen werden. Das ging auch aus mehreren Stellungnahmen der Fragebögen hervor. Es wird nicht als Kerngeschäft angesehen, Holzreste abzusetzen, was den Betreibern natürlich in Bezug auf das Ziel eines Sägewerkes oder Vollholzbearbeiters nicht vorgeworfen werden kann. Zusätzlich steckt der Schweizer Laubholzmarkt aufgrund einer fehlenden Weiterverarbeitungsindustrie und mangelnder Absatzprodukte in einer Krise. Um daher eine vielfältigere Laubholzresteverwertung anzukurbeln, bedarf es erst eines Aufschwungs des kompletten Laubholzmarktes. Dabei ist man allerdings auf Initiativen aus der Forstwirtschaft, der Säge- und Holzindustrie sowie der Politik angewiesen. In Kooperationen müssen gemeinsam Lösungen entwickelt werden. Jeder einzelne der drei Bereiche muss ernsthaft daran interessiert sein, Änderungen im eigenen Arbeitsfeld in Angriff zu nehmen. Höhere Anteile von Laubholzresten wären die logische Folge einer intensiveren Verarbeitung. Wird ein Weg aus dieser Krise gefunden, werden sicherlich auch Wege für die Holzresteverwertung interessant, die im Moment noch nicht etabliert sind.

Zu einer Förderung und Diversifizierung beitragen können allerdings auch die Industriezweige, welche Holzreste verarbeiten. Ihnen sollte auch etwas daran liegen, Laubhölzer in grösseren Mengen einzusetzen, zumal laut dem LFI 3 der Nadelholzvorrat gesunken ist. Untersuchungen zur Verwendung von Laubhölzern in Span- und Faserplatten bezeugen, dass höhere Anteile, sogar bis zu 100 %, realisiert werden können. Die Erhöhung des Laubholzanteils würde zudem eine Verschiebung der einzelnen Holzerntesortimente bedeuten. Holz mit ausreichender Qualität, welches derzeit wegen fehlender Absatzmärkte direkt energetisch genutzt wird, könnte als Industrie-, mitunter sogar als Stammholz eingesetzt werden. Natürlich bedarf es auch hier weiterer Forschung, technischer Entwicklungen und Produktinnovationen, um die Verarbeitung zu erleichtern und die Produkte zu optimieren. Ausser der Industrie stehen hier auch Forschungsinstitute in der Pflicht und können einen entscheidenden Beitrag leisten. Die Recherche zeigte, dass Spanplatten, OSB und MDF aus Laubholz möglich sind. Nach Auskunft von Braun (2010) plant die Kronospan Schweiz AG in Zusammenarbeit mit der BFH-AHB Biel ein Projekt zur

Laubholzverwertung in Spanplatten. Im Moment werden Laubhölzer anteilig verwendet (bis zu 40 %). Prinzipiell ist es heute technisch möglich, Platten aus 100 % Laubholz zu fertigen. Aufgrund der höheren Laubholzdichte ist es erforderlich, die Plattenrohdichte anzuheben. Was noch Probleme bereitet, ist die Gewährleistung einer ausreichend hohen Plattendeckschichtdichte. Grund dafür ist der aus der höheren Querdruckfestigkeit des Holzes resultierende Verdichtungswiderstand, welcher zu einer unzureichenden Plastifizierung der Späne führt. Analoges wäre auch bei MDF möglich. Aus Rücksprachen mit Pavatex SA ging hervor, dass Interesse besteht, druckfeste Holzweichfaserplatten im gehobenen Rohdichtebereich zu entwickeln. In Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und BFH-AHB Biel könnten dazu Untersuchungen durchgeführt werden. Folgende Forschungsprojekte könnten daher ableitend aus der Schlussfolgerung vertieft oder lanciert werden:

- Untersuchungen zur Herstellung und zur Bestimmung der Eigenschaften von druckfesten Weichfaserplatten aus Laubholz
- Untersuchungen zur Herstellung und zur Bestimmung der Eigenschaften von Spanplatten aus Laubholz (derzeitiges Projekt der Kronospan Schweiz AG mit der BFH-AHB Biel)
- Untersuchungen zur Herstellung und zur Bestimmung der Eigenschaften von WPC aus Laubholz
- Untersuchungen zur stofflichen (z.B. weitere Untersuchungen iwood, Verwendung von Laubholz als Filtermaterial) und chemischen Verwertung (z.B. Verwendung von Cellulose und Lignin für Biokunststoffe und Biowerkstoffe)

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die Verarbeitung des Holzes vom Baumstamm zum Endprodukt ist infolge von Sortierungen und spanenden Bearbeitungsschritten stets mit „Verschnitt“, also der Entstehung von Restholz und Holzresten verknüpft. Bereits im Wald erfolgt eine Sortierung der Qualität nach Stamm-, Industrie- und Waldenergieholz. Im Gegensatz zum Stammholz werden Industrie- und Waldenergieholz aufgrund ihrer minderen Qualitäten nicht eingeschnitten, sondern direkt energetisch verwertet (Waldenergieholz) oder in der Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie zerkleinert. Auch bei der Verarbeitung im Sägewerk (Stammholz) entstehen in Abhängigkeit der Einschnittart, des Bearbeitungsganges und Produktes unterschiedliche Mengen und Sortimente an Holzresten. Je nach Art dieser Reste (u. a. Hackschnitzel, Späne, Spreissel) können sie ebenso verschiedenen Anwendungen wie Holzwerkstoffen, Zellstoff oder der Bodenverbesserung zugeführt werden.

Im Gegensatz zum Nadelholz hat sich jedoch die Verwertung von Restholz und Holzresten aus Laubholz auf diese Art und Weise noch nicht etabliert. Hier überwiegt eindeutig die energetische Nutzung. Ungefähr 60 % des geernteten Laubholzes, die qualitativ oftmals eine Einordnung in Industrie- oder sogar Stammholz zulassen würden, werden sogleich energetisch verwertet. Auch im Sägewerk überwiegt die Verwendung der Holzreste als Energiequelle. Hintergründe in der Schweiz sind fehlende Absatzmärkte und eine unvollständige Wertschöpfungskette vom Rundholz zum Halb- oder Endfabrikat. Obwohl die Daten des dritten und aktuellsten Landesforstinventars (LFI) von 2004 bis 2006 eine Vorratssteigerung für Laubholz von 10,4 % bekunden, steckt die Laubholzverarbeitung in einer Krise.

Wichtig wird es zum einen sein, höhere Laubholzanteile als Stamm- und Industrieholz zu verwenden und anderseits geeignete Absatzmärkte für Laubholz wieder aufleben zu lassen bzw. zu schaffen. Eine vermehrte Nutzung von Laubholz ist jedoch erst dann effizient, wenn sich sowohl für Hauptprodukte aus Schnittwaren, als auch für die Nebenprodukte aus Holzresten gewinnbringende industrielle Prozesse abzeichnen. Vor allem in der Schweiz dominiert die energetische Nutzung von Laubholzresten aus dem Sägewerk. Eine Umfrage unter Laubholzsägewerken und –verarbeitern innerhalb der Recherche zeigt, dass stoffliche oder chemische Varianten der Verwertung vermutlich erst bei grösseren Einschnittmengen interessant werden. Würden für Laubholz zusätzliche Absatzmöglichkeiten entwickelt, wären grössere Holzrestmengen und zunehmendes Interesse an einer effizienten Verwertung eine logische Konsequenz des stärkeren Einschnittes. Zahlreiche vergangene und aktuelle Publikationen und Untersuchungen bezeugen die Einsatzmöglichkeit von Laubholzresten besonders für Span- und Faserplatten, weitere Potentiale bieten die stoffliche und chemische Verwertung. Auch die Nutzung als Energieträger ist nicht zu verwerfen und sinnvoll unter Beachtung einer qualitätsgerechten Aufteilung der Laubholzernte.

Holzwerkstoffe: Spanwerkstoffen, insbesondere Spanplatten, werden momentan bis zu einem Anteil von 40 % Laubhölzer beigemengt. Höhere oder reine Anwendungen sind möglich (Klauditz 1952; Klauditz und Buro 1960; Buschbeck et al. 1961; Kehr 1962; Kehr und Schilling 1965a, b; Grigoriou 1981; Vos und Kharazipour 2008) und wurden schon in den 1950er Jahren in Deutschland, der ehemaligen DDR und der Tschechoslowakei produziert. Für Faserwerkstoffe werden nahezu keine Laubhölzer eingesetzt, obwohl sie sich aufgrund ihrer Faserstruktur für den Trockenprozess eignen und normgerechte MDF und HDF realisierbar sind (Krug und Mäbert 2007).

Stoffliche, chemische und energetische Verwertung: Mindere Holzqualitäten und Holzreste sind ideal, um das Laubholz stofflich, chemisch oder als Energieträger zu nutzen. Laubholz

kann stofflich zur Anzucht von Speisepilzen, Aromatisierung von Wein, Filtrierung von Schwermetallen und Herstellung von Kunststoffen, Linoleum oder der Schweizer Erfindung „iwood“ (ein poröser Holzwerkstoff aus Holzmehl, Wasser und Stärke) verwertet werden. Das wichtigste Gebiet der chemischen Verwertung ist die Zellstoff- und Papierherstellung aus Cellulose. Nadelholzzellstoff führt zu Papieren mit hoher Dichte und Festigkeit sowie gleichmässiger Oberfläche, wohingegen Papier aus Laubholzzellstoff grob, porös, opak und saugfähig ist. Einheimisch genutzte Laubhölzer werden jedoch aufgrund des zunehmenden Ersatzes durch schnell wachsende Plantagenhölzer mehr und mehr zurückgedrängt. Weitere Celluloseprodukte sind Celluloseester, -ether, Holzucker und Regeneratcellulose. Lignin wird meist energetisch verwertet, obwohl es sich für unterschiedlichste Produkte wie Vanillin, Binde- und Düngemittel sowie Biomaterialien eignet. Für den Einsatz von Laubholz als Energieträger sollten zum Einschnitt und als Industrieholz geeignete Sortimente tabu sein. Unter Beachtung diese Aspekts existieren drei Wege der Nutzung: Verbrennung, Holzvergasung und die Produktion von Bioethanol.

Eine stärkere Nutzung von Laubholzresten für Holzwerkstoffe, sonstige Werkstoffe oder chemische Produkte ist vor allem von der zukünftigen Entwicklungsstärke von Absatzmärkten abhängig. Die augenblicklichen Probleme der Laubholzverarbeitung sind jedoch nur durch die Initiative und Kooperation von Forstwirtschaft, Holz- und Sägeindustrie sowie Politik. Folgende Änderungen der derzeitigen Situation würden zusätzliche Absatzmärkte nach sich ziehen:

- Eine Umverteilung der Holzerntesortimente zugunsten des Stamm- und Industrieholzes
- Eine höhere Laubrestholzmenge aufgrund eines höheren Einschnittes im Sägewerk
- Ein ausgewogeneres Verhältnis zwischen energetischer und stofflicher bzw. chemischer Holzverwertung
- Eine höhere Vielfalt an Produkten und Produkteigenschaften.

9 LITERATURVERZEICHNIS

AFFENTRANGER, C. 2009. innovation wood. Persönliche Nachricht. 16.06.2009.

ALPÁR, T. und RÁCZ, I. 2007. Production of cement-bonded particleboard from popular. *In* B. Laszlo [ed.], Third Conference on Hardwood Research and utilisation in Europe, University of West Ungary. Faculty of Wood Sciences. Sopron.

ANONYMUS. 2007a. Holzfaser-basierte Produkte und Systeme, welche eine Längenskala von Molekülen bis zu Gebäuden umfassen: Forschungsvorhaben "Wood Fiber 2020". Projektskizze. KMU Zentrum Holz.

ANONYMUS. 2007b. Grenzwerteverordnung 2007-GKV 2007. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Österreich.

ANONYMUS. 2008a. Jahresbericht 2008, Verband der Schweizerischen Zellstoff- Papier- und Kartonindustrie. Zürich.

ANONYMUS. 2008b. Technische Regeln für Gefahrstoffe-TRGS 553-Holzstaub. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). Deutschland

ANONYMUS. 2009a. Ilsfelder Unternehmen liefert Natrurrohstoff für Gucci-Pumps. *Deutscher Depeschendienst. Berlin*.

ANONYMUS. 2009b. Prognosen und Potentiale. *In* energieschweiz [ed.]. Ernst Basler + Partner AG. www.bio-sprit.ch. Zugriff: 21.01.2010.

ANONYMUS. 2010a. Pellets aus Herbstlaub. Bienert & Pohl GbR. www.bienertpohl.de/laubpellets.html. Zugriff: 01.02.2010, Mohnheim.

ANONYMUS. 2010b. Modul Holzenergie: Energieholz LE 51.1. Penta Project, Maur.

ANONYMUS. 2010c. proPellets. Holzenergie Schweiz. www.holzenergie.ch/propellets.html. Zugriff: 01.02.2010.

AUTORENKOLLEKTIV. 1975. Werkstoffe aus Holz und andere Werkstoffe der Holzindustrie. Fachbuchverlag, Leipzig.

BAFU. 2009. Jahrbuch Wald und Holz 2008. Umwelt-Wissen Nr. 0904. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BARTHOLME, B., AVRAMIDIS, G., VIÖL, W. und KHARAZIPOUR, A. 2009. Herstellung von organsich gebundenen Holzfaser-Dämmplatten aus Buchenholz. *Holztechnologie* 50: 23-26.

BERNASCONI, A. 2004. Verleimung von Laubholz für den tragenden Einsatz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155: 533-539.

BOZELL, J. J., HOLLADAY, J. E., JOHNSON, D. und WHITE, J. F. 2007. Top value added chemicals from biomass-VolumeII: Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL).

BRÄNDLI, U. B. 2010. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU.

BRINKMANN, E. 1979. OSB-Platten, ihre Eigenschaften, Verwendung und Herstellungstechnologie. *Holz als Roh-und Werkstoff* 37: 139-142.

BUCHHOLZER, P. 1995. MDF aus unterschiedlichen Laub- bzw. Nadelhölzern und Bindemitteln. *Holz-Zentralblatt* 121: 600-601.

BUSCHBECK, L., KEHR, E. und JENSEN, U. 1961. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 1. Mitteilung: Rotbuche und Kiefer. *Holztechnologie* 2: 99-110.

CARUS, M., MÜSSIG, J. und GAHLE, C. 2008. Naturfaserverstärkte Kunststoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow.

CORBAT, P. 2010. Corbat Holding SA. Persönliches Gespräch. 16.02.2010.

DEPPE, H.-J. und ERNST, K. 1991. Taschenbuch der Spanplattentechnik. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.

DEPPE, H.-J. und ERNST, K. 2000. Taschenbuch der Spanplattentechnik. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.

DIN EN 300. 2006. Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 309. 2005. Spanplatten - Definition und Klassifizierung. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 312. 2009. Spanplatten - Anforderungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 316. 2009. Holzfaserplatten - Definition, Klassifizierung und Kurzzeichen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 548. 2004. Elastische Bodenbeläge - Spezifikation für Linoleum mit und ohne Muster. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 622-5. 2010. Faserplatten - Anforderungen - Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

ELMENDORF, A. 1965. Oriented Strand Board. Patent Nr. 3164511. Palo Alto, Kalifornien, USA.

ELMENDORF, A. 1969. Orienting Wood Strands. Patent Nr. 3478861. Palo Alto, Kalifornien, USA, Untited States Patent Office.

EN 14961-2. 2010. Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 2: Holzpellets. CEN Europäisches Komitee für Normung.

FINK, H. P., EBELING, H. und VORWERG, W. 2009. Cellulose technology and starch processing. *Chemie Ingenieur Technik* 81: 1757-1766.

FRONIUS, K. 1991. Gatter, Nebenmaschinen, Schnitt- und Rundholzbehandlung. DRW-Verlag, Stuttgart.

GATHEN VON DER, M. 2009. Hamberger Flooring GmbH & Co. KG. persönliche Nachricht. 18.06.2009.

GRIGORIOU, A. 1981. Influence of Different Wood Species on the Properties of Threelayer Particleboard and Their Surface-Layers. *Holz als Roh-und Werkstoff* 39: 97-105.

GUTWASSER, F. 2005. Holzchemie, 2. Semester Holztechnik, Skript, Fachhochschule Eberswalde.

HESSIG, J. 2009. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. persönlicher Kontakt. 15.12.2009.

HOLZENERGIE, S. 2009. Holzenergiestatistik. www.holzenergie.ch/holzenergie/die-vorteile-der-holzenergie/zahlen-und-fakten/holzenergiestatistik.html. Zugriff: 29.01.10.

HOPPE, M. 2005. Dämmstoffplatten aus Holzfasern. *Holztechnologie* 46: 45-49.

HOPPELER, W. 1961. Die Spanplattenindustrie in der Schweiz. *Holz-Zentralblatt* 87(105): 1587.

HOWALD, M. 2009a. Kronospan Schweiz AG. Persönliche Nachricht. 31.07.2009.

HOWALD, M. 2009b. Kronospan Schweiz AG. Persönliche Nachricht. 17.09.2009.

INFORMATIONSDIENST, H. 2007. Holzfaserdämmstoffe. *Holzbau Handbuch* Reihe 4/ Teil 5/ Folge 2. Absatzförderung der deutschen Forst- und Holzwirtschaft. 36p.

KAMM, B., KAMM, M., SCHMIDT, M., HIRTH, T. und SCHULZE, M. 2006. Lignocellulose-based Chemical Products and Product Family Trees. *In* B. KammP. R. Gruber und M. Kamm [eds.], Biorefineries - industrial processes and products status quo and future directions. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim.

KARBUN, G. 2009. Persönliche Nachricht. 24.08.2009.

KEHR, E. 1962a. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 3. Mitteilung: Der Einfluss des Härteranteils auf die Eigenschaften von Spanplatten aus Rotbuchen- und Kiefernholz. *Holztechnologie* 3: 22-28.

KEHR, E. 1962b. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 4. Mitteilung: Erle. *Holztechnologie* 3: 130-136.

KEHR, E. 1995. Zur Verwendung schnellwachsender Holzarten für die Herstellung von MDF und Spanplatten am Beispiel von Pappel und Baumweide (1). *Holz-Zentralblatt* 60: 1010-1013.

KEHR, E. und SCHILLING, W. 1965a. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 6. Mitteilung: Birke. *Holztechnologie* 6: 161-168.

KEHR, E. und SCHILLING, W. 1965b. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 7. Mitteilung: Eiche, Aspe, Pappel, Hainbuche, Ulme, Lärche sowie als Vergleichsholzarten Fichte und Kiefer. *Holztechnologie* 6: 225-232.

KLAUDITZ, W. 1952. Untersuchungen über die Eignung von verschiedenen Holzarten, insbesondere von Rotbuchenholz zur Herstellung von Holzspanplatten. Institut für Holzforschung. Braunschweig. Bericht 25/ 1952.

KLAUDITZ, W. 1955. Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspanplattenherstellung. *Holz als Roh-und Werkstoff* 13(11): 405-421.

KLAUDITZ, W. und BURO, A. 1960. Untersuchungen an Spangemischen verschiedener Holzarten. Institut für Holzforschung. Braunschweig. Bericht 64/ 1960.

KLAUDITZ, W., ULBRICHT, H. J., KRATZ, W. und BURO, A. 1960. Herstellung und Eignung von Holzspanwerkstoffen mit gerichteter Festigkeit. *Holz als Roh-und Werkstoff* 18(10): 377-385.

KNUST, C., HALLER, P., KRUG, D. und TOBISCH, S. 2008. Einsatzmöglichkeiten von Plantagenholz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 159: 146-151.

KOLLMANN, F. 1940. Untersuchungen über die Herstellung von Holzwolle, insbesondere Buchenholzwolle, zu Leichtbauplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 3: 33-43.

KRAFFT, U. 2008. Ressourcenpolitik Holz. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern.

KRUG, D. und MÄBERT, M. 2007. MDF-Basisarbeit: Laubholz als Rohstoffalternative für Faserplatten im IHD-Test. *MDF-Magazin*: 80-85.

KYBURZ, P. 2005. Die Welt ist kein Kartoffelacker. *WWF Info Schule* 4.

LÄDRACH, T. 2008. Energetische oder stoffliche Restholzverwertung: Eine Sägersicht. Interessengemeinschaft Industrieholz. www.industrieholz.ch/uploads/Verw-Restholz08_D.pdf. 09.10.09.

LAMPERT, H. 1967. Faserplatten Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Eigenschaften. Fachbuchverlag, Leipzig.

LOHMANN, U. 2003. Holz-Lexikon. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.

LOHMANN, U. und ANNIES, T. 1998. Holz-Handbuch. DRW-Verlag, [Leinfelden-Echterdingen].

MAKOWSKI, M. 2003. Holzwege zum guten Wein. *Holz-Zentralblatt* 129(70): 967-970.

MANTAU, U., WEIMAR, H. und LABER, J. 2003. Aufkommen und Vertrieb von Sägenebenprodukten. *Holz-Zentralblatt* 129(97): 1405-1406.

MARCHETTI, V., CLEMENT, A., GERARDIN, P. und LOUBINOUX, B. 2000. Synthesis and use of esterified sawdusts bearing carboxyl group for removal of cadmium(II) from water. *Wood Science and Technology* 34: 167-173.

MARUTZKY, R. und SEEGER, K. 1999. Energie aus Holz und anderer Biomasse Grundlagen, Technik, Emissionen, Wirtschaftlichkeit, Entsorgung, Recht. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen.

NÄHER, T. 2007. Innovations-Roadmap 2020. Schlussbericht. Bericht Nr. 2699-SB-01. Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau.

SANDERMANN, W. 1956. Grundlagen der Chemie und chemischen Technologie des Holzes. Geest & Portig, Leipzig.

SANDERMANN, W. und DEHN, V. U. 1951. Einfluss chemischer Faktoren auf die Festigkeitseigenschaften zementgebundenener Holzwolleplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 9(3): 97-101.

SANDERMANN, W. und BRENDEL, M. 1956. Die "zementvergiftende" Wirkung von Holzinhaltsstoffen und ihre Abhängigkeit von der chemischen Konstitution. *Holz als Roh-und Werkstoff* 14(8): 307-313.

SANDERMANN, W. und KOHLER, R. 1964. Über eine kurze Eignungsprüfung von Hölzern für zementgebundene Werkstoffe. Studien über mineralgebundene Werkstoffe. VI. Mitteilung. *Holzforschung* 18(1/2): 53-59.

SANDERMANN, W., PREUSSER, H.-J. und SCHWEERS, W. 1960. Studien über mineralgebundene Holzwerkstoffe. *Holzforschung* 14(3): 70-77.

SCHÄRER, W., WALKER, D. und GAUTSCHI, M. 2006. Starkholz und Laubholz in der Schweiz: gestern, heute, morgen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 157(12): 556-560.

SCHUBERT, B., WIENHAUS, O. und BLOSSFELD, O. 1990. Investigations on the Wood-Cement Composite Influence of Various Wood Species on the Setting Behavior of Wood-Cement Compounds and Possibilities of Modifying the Composite. *Holz als Roh-und Werkstoff* 48: 423-428.

SCHWARZ, H.-G. und SIMATUPANG, M.-H. 1984. Eignung des Buchenholzes zur Herstellung zementgebundener Holzwerkstoffe. *Holz als Roh-und Werkstoff* 42: 265-270.

SCHWYZER, C. 2009. Heiss begehrtes Energieholz. *Wald und Holz* 3(2009).

ŠĆIBAN, M. und KLAŠNJA, M. 2004. Wood sawdust and wood originate materials as adsorbents for heavy metal ions. *Holz als Roh-und Werkstoff* 62(2004): 69-73.

SEIFRIED, U. 2009. Berner Fachhochschule-Architektur, Holz und Bau. persönliche Mitteilung. 21.10.2009.

SELL, J. und HOLZ, L. S. A. F. D. 1997. Eigenschaften und Kenngrössen von Holzarten. Baufachverlag, Dietikon.

SIA 253. 2002. Bodenbeläge aus Linoleum, Kunststoff, Gummi, Kork, Textilien und Holz. SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekturverein Zürich.

SIMATUPANG, M. H. 1975. Zur Eignung verschiedener Holzarten für die Herstellung zementgebundener Werkstoffe. *Holz-Zentralblatt* 31: 415.

SN 166000. 2001. Prüfung fester Brennstoffe - Presslinge aus naturbelassenem Holz - Anforderungen und Prüfung. SNV Schweizerische Normen-Vereinigung.

STUCKI, S. und WASER, A. 2006. Holz im Tank und aus dem Gashahn. *Energie-Spiegel (Newsletter des Paul Scherrer Instituts)* 16: 3.

SYKES, M. T. und PRENTICE, I. C. 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: A case study in the mixed conifer northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change* 34: 161-177.

THEES, O. 2009. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Persönliche Kontakt. 15.12.2009.

THEES, O. und LEMM, R. 2009. Management zukunftsfähige Waldnutzung Grundlagen, Methoden und Instrumente. vdf Hochschulverlag, Zürich.

THOLE, V. 2008. Oriented Strand Boards (OSB) aus Buchenholz. *Holztechnologie* 49(6): 12-15.

TRENDELENBURG, R. und MAYER-WEGELIN, H. 1955. <<Das>> Holz als Rohstoff. Carl Hanser, München.

URBONAS, L., HEINZ, D., KRIPPNER, R. und NIEBLER, D. 2009. Schnell erhärtender Holzleichtbeton. *Holztechnologie* 50(4): 26-30.

VERSCHEURE, P. 1998. Energiegehalt von Hackschnitzel - Überblick und Anleitung zur Bestimmung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Freiburg.

VOGT, D., CARUS, M., ORTMANN, S., SCHMIDT, C. und GAHLE, C. 2006. Wood-Plastic-Composites (WPC), 96. nova-Institut GmbH, Hürth.

VORREITER, L. 1943. Handbuch für Holzabfallwirtschaft. Neumann, Neudamm.

VORREITER, L. 1960. Holzmehl Eigenschaften, Erzeugung und Verwendung. Holz-Zentralblatt, Stuttgart.

VOS, H. und KHARAZIPOUR, A. 2008. Verwendung von Küstetannen- und Buchenholz für die Herstellung neuartiger Sandwichplatten. *Holztechnologie* 49(6): 20-22.

WAGENFÜHR, A. und SCHOLZ, F. 2008. Taschenbuch der Holztechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag, München.

WAGENFÜHR, R. und SCHEIBER, C. 1974. Holzatlas. Fachbuchverlag, Leipzig.

WALTER, K., KIESER, J. und WITTKE, T. 1979. Einfluss der Spanform auf einige Festigkeitseigenschaften orientiert gestreuter Spanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 37: 183-188.

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2-1: Vorratsänderung von LFI 2 auf LFI 3 pro Produktionsregion (Brändli 2010)..... 10
Tab. 2-2: Vorratsveränderung der Gesamtschweiz zwischen LFI 2 und LFI 3 pro Produktionsregion des gemeinsamen zugänglichen Waldes ohne Gebüschwald (Brändli 2010) 11
Tab. 3-1: Zelltypen von Nadel- und Laubhölzern (Wagenführ und Scholz 2008) 19
Tab. 3-2: Eigenschaften von Fichte, Weisstanne, Buche, Eiche und Esche (Sell und Holz 1997; Bernasconi 2004) 20
Tab. 4-1: Holzvorrat von Buche, Esche, Ahorn, Eiche und Kastanie pro Produktionsregion im LFI 3 (nach Schweizerisches Landesforstinventar, WSL) 21
Tab. 4-2: Verteilung der Restprodukte durch Bearbeitungsverfahren (Fronius 1991) 25
Tab. 4-3: Waldenergieholzmengen nach Szenario A (2006-2016, keine Minimierung des aktuellen Holzvorrates) (Thees und Lemm 2009)..... 27
Tab. 4-4-: Im Wald und im Sägewerk anfallende Holzreste mit unterschiedlichen Zerkleinerungsgraden (Deppe und Ernst 1991; Lohmann und Annies 1998; Deppe und Ernst 2000; Lohmann 2003; Vogt et al. 2006) 28
Tab. 5-1: Werte für Querzug- und Biegefestigkeit sowie Dickenquellung (Grigoriou 1981; DIN EN 312 2009) 33
Tab. 5-2: Anteil, Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung der Fasern einiger wichtiger Nadel- und Laubhölzer (Trendelenburg und Mayer-Wegelin 1955; Lampert 1967; Wagenführ und Scheiber 1974; Autorenkollektiv 1975; Sell und Holz 1997) 40
Tab. 5-3: Faserstoff- und Platteneigenschaften von HDF und MDF aus Kiefer, Buche, Eiche, Pappel und Birke nach Untersuchungen von Krug und Mäbert (2007) mit steigenden Werten von links nach rechts 42
Tab. 5-4: Verwertungsmöglichkeiten für Holzmehl (Vorreiter 1943, 1960) 52
Tab. 5-5: Schliffarten des Steinschliffs (Gutwasser 2005) 54
Tab. 5-6: Schliffarten des Hackschnitzelschliffs (Gutwasser 2005) 55
Tab. 5-7: Formen und Anwendungen des Celluloseesters (Gutwasser 2005) 60
Tab. 5-8: Formen und Anwendungen des Celluloseethers (Fink et al. 2009)..... 61
Tab. 5-9: Ausbeuten nach dem Udic-Rheinau-Verfahren (Sandermann 1956) 62
Tab. 5-10: Holzenergiestatistik für die Schweiz von 1990 – 2008 (Holzenergie 2009)..... 68
Tab. 5-11: Verbrennungswert und Heizwert in Abhängigkeit von der Feuchte (Marutzky und Seeger 1999)..... 69

Tab. 5-12: Heizwerte verschiedener Nadel- und Laubhölzer je Kilogramm, Fest-, Raum- und Schüttraummeter im Vergleich mit Heizöl und Erdgas (nach Bayerischer Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2007)..... 70
Tab. 6-1: Produktionsanlagen der befragten Unternehmen 75
Tab. 6-2: Jährliche durchschnittliche Schnitt- und Restholzmengen und –anteile in m³ und % aufgeteilt in reine Laubholz- sowie Laub- und Nadelholzverarbeiter. Grau geschriebene Werte mittels Berechnung bestimmt, da keine Angabe im Fragebogen..... 77
Tab. 6-3: Vergleich der in der Umfrage ermittelten Anteile der Holzrestsortimente mit Angaben von Fronius (1991)..... 78
Tab. 6-4: Von den Betrieben selbst genutzte Holzrestsortimente und deren Verwertungsart . 79
Tab. 6-5: Verwertung der Holzreste durch Abgabe an verschiedene Absatzzweige (Heizanlagen, Spanplatten-, Faserplatten-, Zellstoff- und Papierindustrie, Gärtnereien, chemische Industrie und Sonstige)..... 81
Tab. 6-6: Antworten der Unternehmen auf die Frage, ob seit 2008 mehr Restholz für energetische Zwecke von Dritten aufgekauft wird, mit Angabe des prozentualen Zuwachses82

11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Ausschnitt eines Schweizer Buchenwaldes im Jura (Verena Krackler) 12
Abb. 2-2: Produktionskapazitäten der grössten europäischen Holzwerkstoffhersteller (Sonae Indústria) 17
Abb. 2-3: Produktionskapazitäten der grössten weltweiten Holzwerkstoffhersteller (Sonae Indústria) 17
Abb. 3-1: Nutzbarer Stammholzanteil von Laub- und Nadelbäumen (Thees 2009) 18
Abb. 4-1: Aufteilung der Holzernte 2008 in Sortimente und Holzart (nach Schweizerischer Forststatistik, Bundesamt für Statistik) 22
Abb. 4-2: Sortimente des Abfallholzes (Werte von 2008 nach Schweizerischer Forststatistik, Bundesamt für Statistik) 23
Abb. 4-3: Überblick über die Schnitt- und Restholzsortimente von Nadel- und Laubholz (Autorenkollektiv 1975; Thees 2009). Werte für das Laubholz anhand der unter Kapitel 6 durchgeführten Umfrage 24
Abb. 4-4: Definition der für Energieholz geeigneten Holzsegmente (Thees und Lemm 2009) 26
Abb. 4-5: Baumteile von starken und schwachen Bäumen zur Energieholzgewinnung (Thees und Lemm 2009) 26
Abb. 5-1: Oberfläche einer OSB (Verena Krackler) 37
Abb. 5-2: Spanstreifenholz (dataholz) 37
Abb. 5-3: MDF aus verschiedenen Laubholzfaserstoffen (Krug und Mäbert 2007) 43
Abb. 5-4: Holzfaserdämmstoff der Marke STEICOflex (www.flickr.com) 43
Abb. 5-5: Anwendungsübersicht von Holzfaserdämmplatten im Holzbau (Informationsdienst 2007) 44
Abb. 5-6: Beispiel eines Räucherofens (www.flickr.com) 47
Abb. 5-7: Telefon aus Bakelit (www.flickr.com) 49
Abb. 5-8: Iwood (Verena Krackler) 51
Abb. 5-9: Fadenspäne der Holzwolle (www.flickr.com) 52
Abb. 5-10: Steinschliff (Gutwasser 2005) 55
Abb. 5-11: Refinerschliff (Gutwasser 2005) 55
Abb. 5-12: Einfluss der Fasereigenschaften von Nadel- und Laubholz auf die Papiereigenschaften 58
Abb. 5-13: Im Lyocellverfahren hergestellter Vlies (Fink et al. 2009) 60

Abb. 5-14: Aufbau der Cellulose aus Glukoseeinheiten (Gutwasser 2005) 61
Abb. 5-15: Verwendung von Lignin (Kamm et al. 2006; Bozell et al. 2007)..... 63
Abb. 5-16: Anwendungsbeispiele – Lautsprecher und Lenkradsegmente – aus Arboform (TECNARO GmbH) 64
Abb. 5-17: Wege des Holzes als Energieträger..... 65
Abb. 5-18: Verbrennungsverlauf und Energiefluss (Marutzky und Seeger 1999; Gutwasser 2005)..... 69
Abb. 5-19: Holzpelletlager (www.erdgaszuerich.ch)..... 71
Abb. 6-1: Einschnittmengen und Mittelwert aller Einschnittmengen [m³/Jahr] an Laubholz (gerundete Werte)..... 74
Abb. 6-2: Anteile der Holzarten am Gesamtlaubholzeinschnitt 74
Abb. 6-3: Erfahrungswerte der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Schnittholzausbeute von neun auswertbaren Betrieben 76
Abb. 6-4: Sorten und Anteile des Restholzes im Verhältnis zum Gesamtjahreseinschnitt..... 78

12 ANHANG

Fragebogen: Restholzverwertung in Laubholzsägewerken

Firma – Anschrift – Ansprechpartner - Kontakt

Firma:

Anschrift:

Ansprechpartner:

E-Mailadresse: Telefonnummer:

1) Welche Menge (m³) an Laubholz verarbeiten sie ca. jährlich?

2) Welche Holzarten werden von Ihnen hauptsächlich verarbeitet, welchen ungefähren Anteil haben sie am Gesamtjahresmenge und welche Herkunft haben sie?

Holzarten	Anteil am Gesamtjahres-einschnitt (in m³)	Herkunft
☐ Buche		
rotkernige Buche		
☐ Eiche		
☐ Esche		
☐ Ahorn		
☐ Pappel		
☐ Obstbäume		
☐ Sonstige		

Arten:

3) Welche Produktionsanlagen stehen Ihnen zur Verfügung?

Sägen	Weiterverarbeitung	Nachnutzung
☐ Blockbandsäge	☐ Trocknungsanlage	☐ Pelettierung
☐ andere Bandsäge	☐ Hobelmaschine	☐ Heizanlagen
☐ Gatter	☐ Zerspaner	☐ Profilieraggregate
☐ Kreissäge	☐ Sonstige	Benennung:

4) Wie hoch ist die jährliche durchschnittliche Schnittholz (bzw. Furnier)- und Restholzmenge?

Schnittholz (bzw. Furnier)- menge		Restholzmenge	
m³	%	m³	%

5) Als wie hoch würden Sie Ihrer Erfahrung nach die Schnittholzausbeute bei Laubholz angeben?

Minimum	Maximum	Durchschnitt
%	%	%

6) Welche Restholzarten entstehen bei Ihrer Verarbeitung, welchen Anteil haben sie am Gesamtjahreseinschnitt?

Restholzart	Anteil am Gesamtjahres-einschnitt (in m³)
☐ Hackschnitzel	
☐ Späne	
☐ Sägemehl	
☐ Rinde	
☐ Spreissel	
☐ Sonstige	

Arten:

7) Nutzen Sie Restprodukte direkt im Sägewerk weiter?

☐ nein

☐ ja

Restholzart ☐ Hackschnitzel ☐ Späne ☐ Sägemehl ☐ Rinde ☐ Spreissel ☐ Sonstige

Menge am Gesamtrestholzaufkommen m³

Verwendung ☐ energetische Nutzung ☐ Bodenabdeckung/ Humus ☐ Weiterverarbeitung ☐ Sonstige

8) Wer sind die Abnehmer Ihrer Restprodukte, welche Arten nehmen diese ab und in welcher Menge?

Abnehmer	**Restholzarten** **H= Hackschnitzel** **SP= Späne** SÄ= Sägemehl SPR= Spreissel R= Rinde SO= Sonstige	**durchschnittlich Abnahmemenge im Jahr (m³)**
☐ Spanplattenwerke	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Faserplattenwerke	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Zellstoffproduktion	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Papierfabriken	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ chemische Industrie	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Heizanlagen	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Gärtnereien	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		
☐ Sonstige	☐ H ☐ SP ☐ SÄ ☐SPR ☐R ☐SO	
Unternehmen:		

9) Nutzen Sie seit 2008 mehr Restholz für eigene energetische Zwecke?

☐ nein

☐ ja

Ungefährer prozentualer Zuwachs seit 2008 ____ %

10) Ist die Menge von Restholz für energetische Zwecke von den abnehmenden Unternehmen seit 2008 gestiegen?

☐ nein

☐ ja

Ungefährer prozentualer Zuwachs seit 2008 ____ %

11) Würden Sie sagen die energetische Nutzung von Restholzprodukten dominiert?

☐ nein

☐ ja

12) Hätten Sie Interesse daran die anfallenden Resthölzer noch für andere Zwecke einzusetzen, wenn Ihnen Verwendungsmöglichkeiten geboten werden würden?

☐ nein

Gründe ____

☐ ja

Vorstellungen? ____

13) Haben Sie eventuell noch Anregungen oder Ergänzungen zu einigen Fragen?