

Potentiale zur CO₂- Emissionsminderung und CO₂- Speicherung durch Holznutzung

Dr. Arno Frühwald
Prof., Holztechnologie
Zentrum Holzwirtschaft
Universität Hamburg
und
Institut für Holztechnologie und Holzbiologie des
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Institut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Hamburg, Deutschland



Potentiale zur CO₂-Emissionsminderung und CO₂-Speicherung durch Holznutzung

1. Ausgangslage

Die Veränderung des Klimas weltweit wird von Forschung und Politik als Tatsache und gleichzeitig als Herausforderung für die Zukunft angesehen. Als wesentliche Ursache wird der Anstieg an CO₂ und anderer klimarelevanter Spurengase angesehen (Abbildung 1). Danach lassen diese „Klimagase“ die kurzwelligen (Ultraviolett-UV) Strahlen der Sonne auf die Erde passieren, die langwelligeren (Infrarot) IR-Strahlen der Erde werden reflektiert, sodass weniger Energie in den Weltraum abgestrahlt werden kann. Die Erde heizt sich umso mehr auf, je mehr Treibhausgase und je stärker reflexionswirksamere Gase in der Atmosphäre vorliegen (Tabelle 1). Methan (CH₄), Stickoxide (NO_x) und vor allem chlorierte Flurkohlenwasserstoffe (FCKW´s) wirken ungleich stärker als CO₂. Ein wichtiger Schritt war daher, die FCKW´s frühzeitig zu verbieten. Die aktuelle Politik will neben dem CO₂ besonders auch die Emissionen der anderen Treibhausgase wie CH₄, NO₂ und O₃ vermindern. Berechnungen zeigen, dass die Treibhausgaskonzentration (in CO₂ - Äquivalenten) derzeit und zukünftig stark ansteigt, somit erheblichen Klimaverschiebungen, z. B. Trockenheit, vermehrte Regenfälle, Stürme, Anstieg der Meeresspiegel) zu erwarten sind (Abbildung 2).

Grundsätzliche Strategien gegen den Treibhauseffekt sind:

- a) Emissionsminderungen der Gase CO₂, NH₄ usw. durch geeignete Maßnahmen, vor allem der Energieeinsparung und spezieller Maßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft (s.u.),
- b) durch Einlagerung von Kohlenstoff (C) aus dem CO₂ der Atmosphäre in C-Speichern (C-Senken).

Vereinbart wurden sowohl Minderungsziele wie auch dazu geeignete Maßnahmen im Klimaprotokoll von Kyoto 1999, dessen Überarbeitung und Fortschreibung derzeit ansteht (u. a. Konferenzen in Kopenhagen Dez. 2009 und Mexiko 2010).

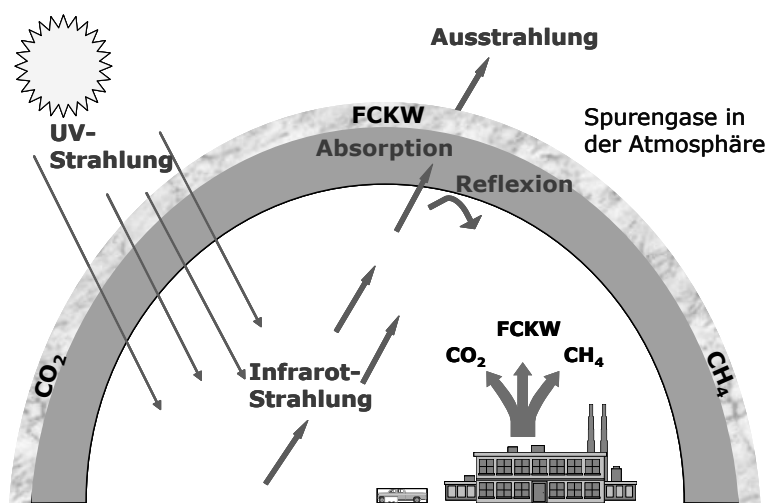


Abbildung 1: Prinzip der Erderwärmung durch Treibhausgase

Tabelle 1: Wirkungsfaktoren verschiedener Treibhausgase im Vergleich zu Kohlendioxid (CO₂)

chemische Zusammensetzung	CO ₂ -Äquivalent (100 Jahre) ¹⁾
CO ₂	1
CH ₄	24,5
NO ₂	320
O ₃	2000
H1201 Halon	5600
FCKW	1500

¹⁾ auf 100 Jahre Verweildauer gerechnet

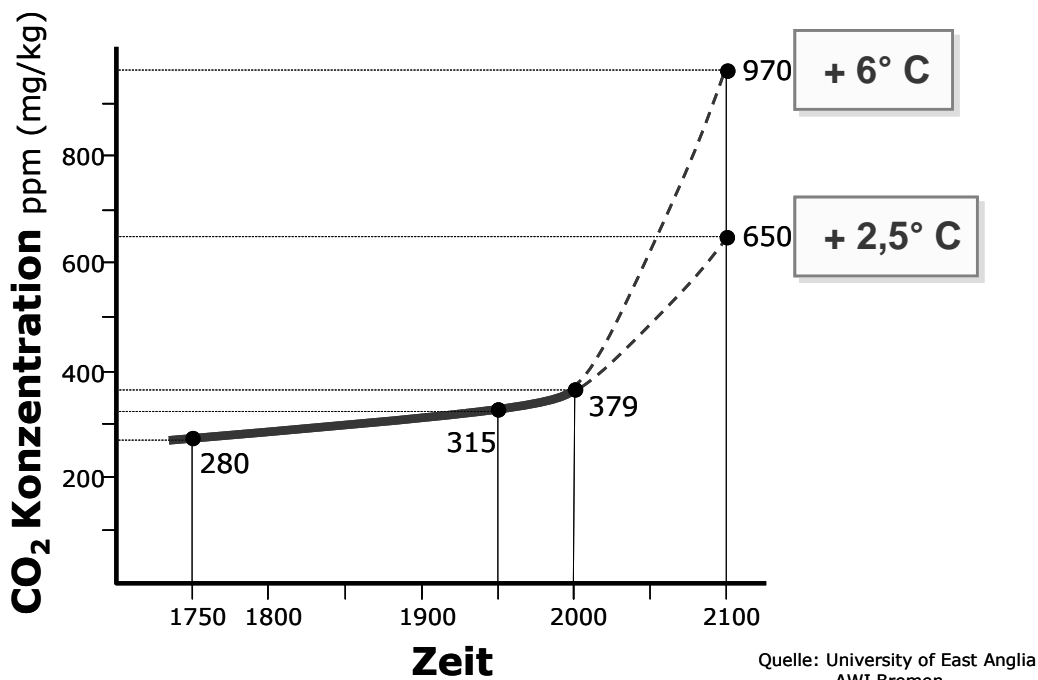


Abbildung 2: Szenarien der Wirkung der Treibhauskonzentration auf die Erderwärmung

Im Protokoll von Kyoto haben sich eine Reihe von Staaten bzw. Staatengruppen (z.B. EU) zu konkreten Emissionsreduktionen bis 2010/2012 („Erste Verpflichtungsperiode“) auf Basis der Emissionen von 1990 verpflichtet (Tabelle 2). Obwohl sich die EU „nur“ zu 8 % Reduktion verpflichtet hat war Deutschland freiwillig zu 21 % bereit.

Deutschland hat die 21 % Minderung nahezu erreicht, wobei die Wiedervereinigung und die jüngste Wirtschaftskrise eine wichtige Rolle gespielt haben. Andere EU-Länder haben in den Emissionen sogar zugelegt.

Tabelle 2: Verpflichtung zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen gem. Protokoll von Kyoto (Deutschland hat sich freiwillig für 21 % verpflichtet)

Europa:	- 8 %
Deutschland:	- 21 %
Österreich:	- 13 %
USA:	kein Interesse
Schweden:	+ 4 %
Japan:	- 6 %
Neuseeland:	± 0 %

Energieeinsparung spielt in den Reduktionsmaßnahmen die wichtigste Rolle. Maßnahmen dazu sind vor allem:

- a) Reduzierung der Aufwendungen zum Heizen und Kühlen von Gebäuden; Maßnahme dazu ist vor allem die Wärmeschutzverordnung,
- b) Reduzierung der Aufwendungen für Transport und Verkehr („Drei-Liter-Auto“, „Fünf Mark für Benzin“),
- c) Förderung erneuerbarer Energien (Energieziele der EU und der deutschen Bundesregierung), besonders Biomasse, Wind, Solar und Wasser. Erneuerbare Energien spielen derzeit mit $\approx 10\%$ noch eine relativ geringe Rolle, sollen aber weiter ausgebaut werden und werden durch Einsparungen bei fossilen Energien auch relativ bedeutender. In diesem Zusammenhang haben sich die meisten EU-Länder und auch einige Nicht-EU-Länder sehr ehrgeizige Ziele gesetzt, z. B. die EU will bis 2020 50 % des Stroms aus erneuerbaren Quellen decken, davon ganz erheblich aus Biomasse (forstliche und landwirtschaftliche Biomasse),
- d) Substitution nicht nur von fossilen Energieträgern (s. o.) sondern von energieaufwändigen Materialien durch energiesparende Materialien.

2. Wald als Kohlenstoffspeicher

Während der Holzbildung (Photosynthese) wird Kohlenstoff (C) aus dem CO₂ der Atmosphäre aufgenommen und zusammen mit Wasser unter Hilfe der Sonnenenergie in Holz und Biomasse sowie Sauerstoff (O₂) umgeformt (Abbildung 3). Holz besteht zu 50 % aus Kohlenstoff, fungiert damit als C-Speicher (C-Senke) solange wie Holz als Holz besteht. Bei Verbrennung oder Verrottung, läuft der Vorgang rückwärts ab, Energie und CO₂ werden freigesetzt. Die Senkenfunktionen von Holz für C zu nutzen ist eine der Strategien die dem Kyoto-Protokoll entsprechen.

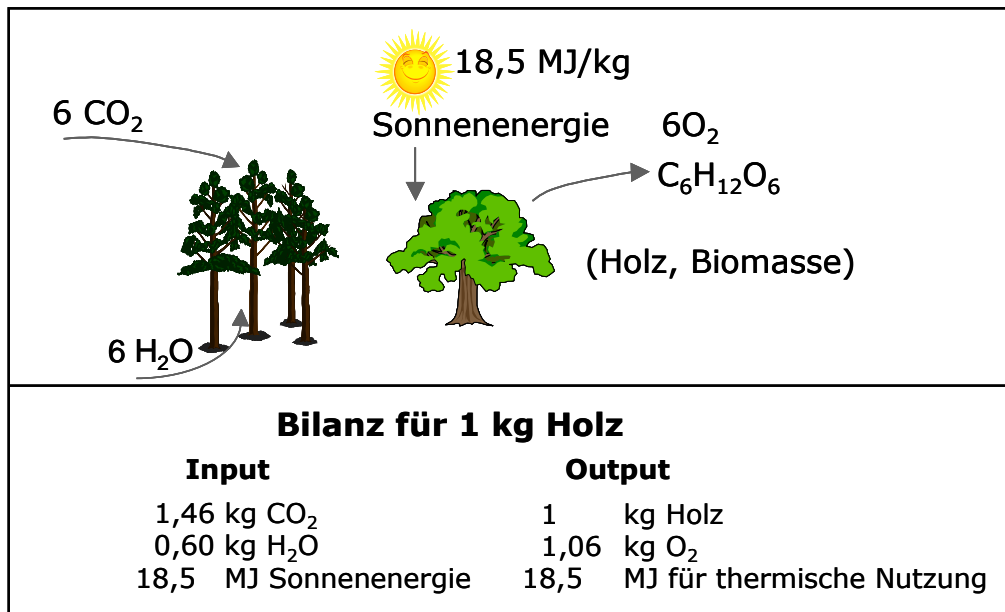


Abbildung 3: Prozess der Photosynthese

Tabelle 3: Waldfläche, Holzvorrat, und C-Speicher

Waldfläche ~ 11 Millionen ha	= 110.000 km ²
Holzvorrat ~ 310 m ³ Stammholz pro ha	= 3,4 Mrd. m ³
Gesamtbiomasse (Stamm, Wurzeln, Äste, Laub)	~ 5,0 Mrd. m ³
in Gesamtbiomasse: 2,5 Mrd. t C als CO ₂ : 9,0 Mrd. t	
CO₂ - Emissionen in Deutschland: 0,8 Mrd. t/J	
C - Emissionen in Deutschland: 0,22 Mrd. t/J	

Die Wälder sind damit große Kohlenstoffsinken. Für Deutschland sind einige Zahlen in der Tabelle 3 zusammengestellt. Damit ist der Gesamtspeicher Wald etwa 11-mal so groß wie die jährlichen Emissionen.

Eine häufig vorgeschlagene Strategie ist deshalb, den Wald sehr alt werden zu lassen, somit viel C einzulagern und lange zu speichern. Dieses funktioniert jedoch nur begrenzt, da mit höherem Alter der Wald weniger zusätzliche Masse produziert (Wachstumskurve) und im hohen Alter die Bäume absterben und verrotten (Abbildung 4). Insofern ist es sinnvoll bei abnehmendem Zuwachs das Holz dem Wald zu entnehmen und einer Verwendung mit langfristiger Speicherfunktion zuzuführen. Auf freiwerdenden Waldflächen wachsen wieder neue Bäume nach. Abb. 5 zeigt diese Strategie für Deutschland; von 100 Mio. m³/Jahr Zuwachs werden ca. 75 Mio. m³/Jahr entnommen und ca. 20 Mio. m³/Jahr verbleiben im Wald und erhöhen den Speicher.

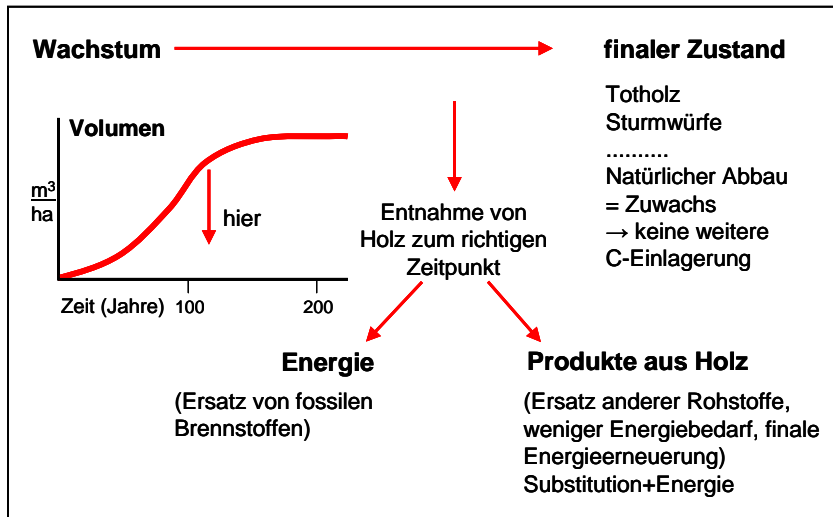


Abbildung 4: Strategie der Holznutzung im Wald

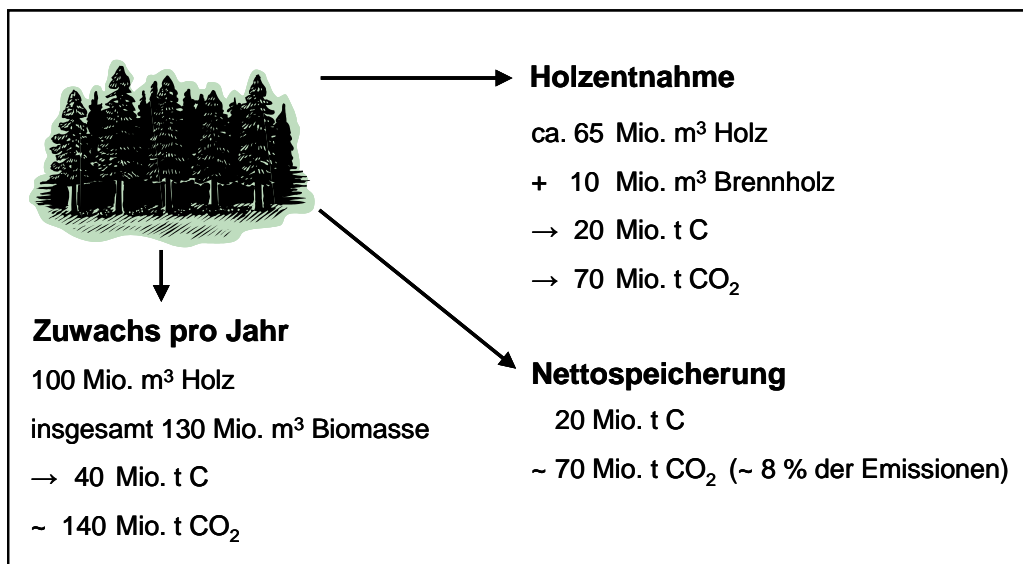


Abbildung 5: Speicherpotentiale Wald und Nutzung

3. Holzprodukte als Kohlenstoffspeicher und als Substitut für andere Werkstoffe und fossile Energieträger

Im Holz von Produkten ist natürlich ebenso Kohlenstoff enthalten wie in den Bäumen. Wird Holz genutzt, werden daraus Produkte (C-Senke und Energieeinsparung durch geringen Energieverbrauch) oder ein Teil des Holzes wird direkt energetisch genutzt. Natürlich werden Holzprodukte nach Gebrauch stofflich recycelt (Altpapier/Altholz) und später energetisch genutzt; somit wird praktisch alles Holz das dem Wald entnommen energetisch genutzt und substituiert so fossile Energieträger. Man spricht hier von stofflicher und energetischer Substitution. (Abbildung 6).

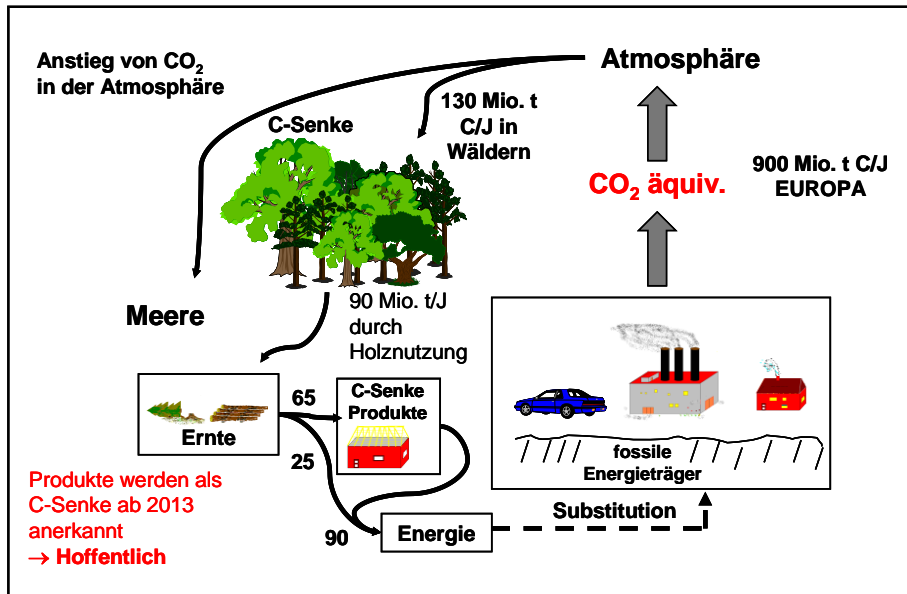


Abbildung 6: Kohlenstoffkreislauf - Wald - Holz - Energie

Sinnvoll ist, das dem Wald entnommene Holz zuerst als stoffliches Produkt, dann zur Energieerzeugung zu nutzen (Kaskadennutzung). Damit ergeben sich die höchsten Wirkungsgrade der CO₂-Reduktion, vor allem wenn langlebige Produkte, z. B. Holz im Bauwesen, langlebige Möbel usw. erzeugt werden. Kaskadennutzung bedeutet konkret:

- Speicherwirkung der Holzprodukte bis zu weit über 100 Jahren im Holzbau, im Durchschnitt aller Produkte einschließlich Papier 30 – 40 Jahre;
- Energieeinsparung bei der Herstellung von Produkten aus Holz gegenüber solchen aus anderen Materialien (siehe unten).
- Nutzung der Produktionsreststoffe und der Althölzer/des Altpapiers für energetische Zwecke (siehe unten).

Holznutzung hat somit 3 (4) Vorzüge:

- 1) Speicherwirkung in Produkten
- 2) Energieeinsparung im Vergleich zu anderen Materialien
- 3) CO₂-neutrale energetische Nutzung

(4. Platz für neue, junge Bäume mit hohem Zuwachs)

Im Folgenden werden eine Reihe von Produktvergleichen gezeigt, aus denen die Überlegenheit von Holzprodukten in den Bereichen C-Speicherung, geringerer Energieverbrauch und energetische Nutzung deutlich wird.

Tabelle 4 zeigt die C-Speicherung einiger Holzprodukte, Tab. 5 die C-Speicherung für alle Holzprodukte (in Nutzung) für Deutschland.

Abbildung 7 zeigt Vergleichsdaten für ein 4-geschossiges Wohnhaus in Schweden mit Tragfunktionen aus Holz und Beton. Es wird bei Holz (a) deutlich weniger Primärenergie gebraucht und (b) hat Holz ein großes Energiepotential das später genutzt werden kann.

Abbildung 8 zeigt den Vergleich von Wandelementen aus Holz und Stein aus einer österreichischen Studie. Je m² braucht die Holzwand weniger Energie, hat C-Einsparungen von minus 16kg/m² (auch durch energetisches Nutzungspotential) während die Steinwand „eine C-Last“ von plus 18 kg/m² hat. Für ein „normales Wohnhaus“ macht dieses einen Unterschied von wenigstens 5 t C aus.

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen Ergebnisse aus Schweizer Untersuchungen für die CO₂-Lasten von Fensterrahmen (nur Produktenergie) und den Primärenergieverbrauch für Schallschutzwände.


Tabelle 4: Kohlenstoffsенке für Holzprodukte

• Holzfenster	25 kg C / Standardfenster
• Parkett (massiv, Laminat)	5 kg C / m²
• Möbel pro Wohneinheit	1.000 kg C / Wohneinheit
• Dachstuhl Massivhaus	1.000 - 3.000 kg C / Dachstuhl
• Holzhaus	10.000 - 25.000 kg C / Haus

Tabelle 5: C-Senke in Holzprodukten – Deutschland

nach Frühwald / Wegener 1994	Menge [Mio t]	C-Senke [Mio t]
35 Mio. Gebäude mit 2.000 kg Möbel und Inventar	70	35
17 Mio. Ein- und Zweifamilienhäuser aus Holz (mit 25 m ³ Holz)	255	128
2,75 Mio. Mehrfamilienhäuser mit je 40 m ³ verbautem Holz	85	43
Holz in Außenanlagen	80	40
Holz im Nicht-Wohnungsbau	100	50
Holz als Verpackungsmaterial	10	5
Papierprodukte	50	25
Halbfertigprodukte in der Produktion und im Lager	15	8
insgesamt	665	334
pro Einwohner	8	4

Vergleich dazu
C-Speicher im Wald:
Holz: C: 1500 Mio. t
oberirdisch



Beispiel: Energieverbrauch

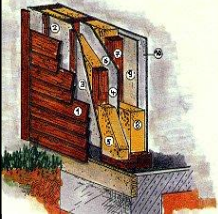
Vergleich einer Rohbaukonstruktion
in Holz und Beton

4 Stockwerke, 16 Wohnungen, 1040 m²

	Holz	Beton
Primärenergieeinsatz	1.100 GJ	2.300 GJ
	25.000 l Öl	52.000 l Öl
Energieinhalt der Baustoffe	1.400 GJ	0 GJ
	32.000 l Öl	0 l Öl

Quelle: Gustavson, 2000

Abbildung 7: Energieeinsatz für Mehrfamilienhäuser

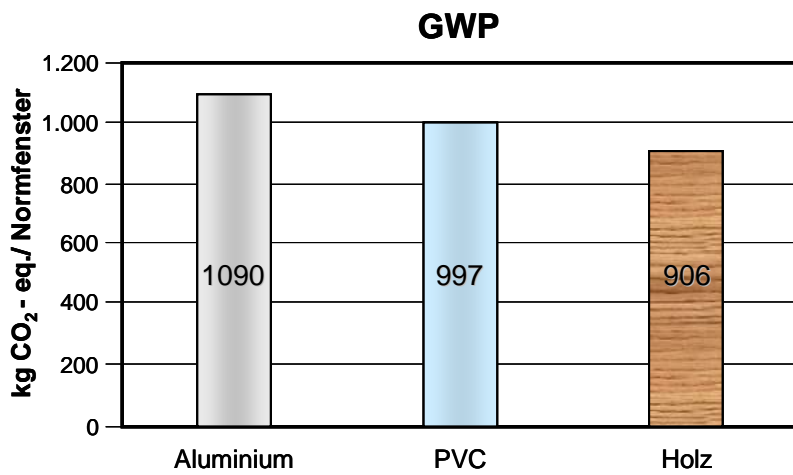


1 m² Wandelemente

	Holzhaus	Steinhaus
Gewicht [kg/m ²]	71	273
Primärenergie [MJ/m ³]	271	876
	75 KWh	245 KWh
CO ₂ -Emissionen [kg/m ²]	- 50	58
C-Emissionen [kg/m ²]	-16	18

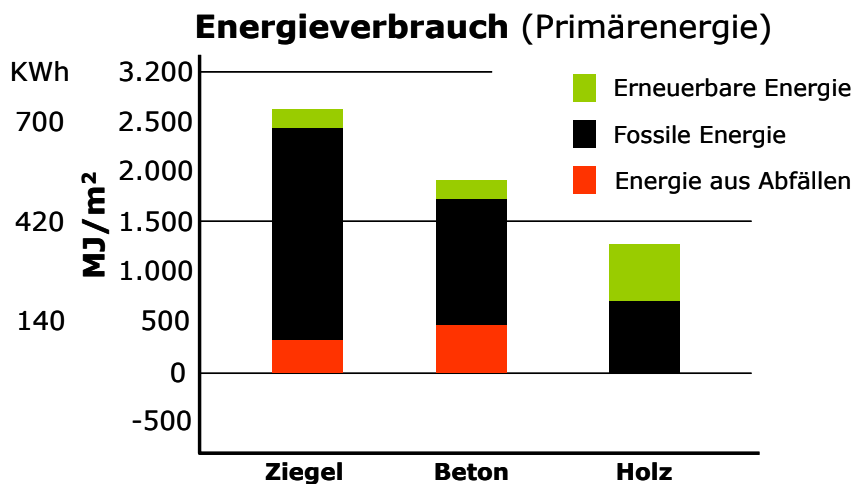
Quelle: Waltjen, H. et al. 1999

Abbildung 8: Energie und Kohlenstoff: Vergleich von Wandsystemen



Quelle: Richter 2000

Abbildung 9: Aufwand an CO₂-Emissionen für Fensterrahmen



Quelle: Richter, Künniger, 2001

Abbildung 10: Aufwand an Primärenergie für Schallschutzelemente

Abbildung 11 zeigt „Erfolge“ in Form von CO₂-Äquivalenten bei der Herstellung von Spanplatten. Strom und fossile Energie konnten deutlich reduziert werden, der Anteil an Bioenergie gesteigert werden.

Abbildung 12 zeigt einen Vergleich verschiedener Holz-Trägersysteme hinsichtlich Energieeinsatz und CO₂-Relevanz. Man sieht daraus einerseits ein „Materialmanagement“ Starkholz oder Schwachholz und andererseits die Möglichkeiten CO₂-Emissionen zu mindern. Wird jedoch das Energiepotential nach Nutzung der Trägersysteme in den Vergleich einbezogen scheidet der BSH-Träger mit einer CO₂-Vermeidung durch energetische Nutzung von ca. 100 kg gegenüber den beiden anderen Trägern mit je ca. 60 kg besser ab.

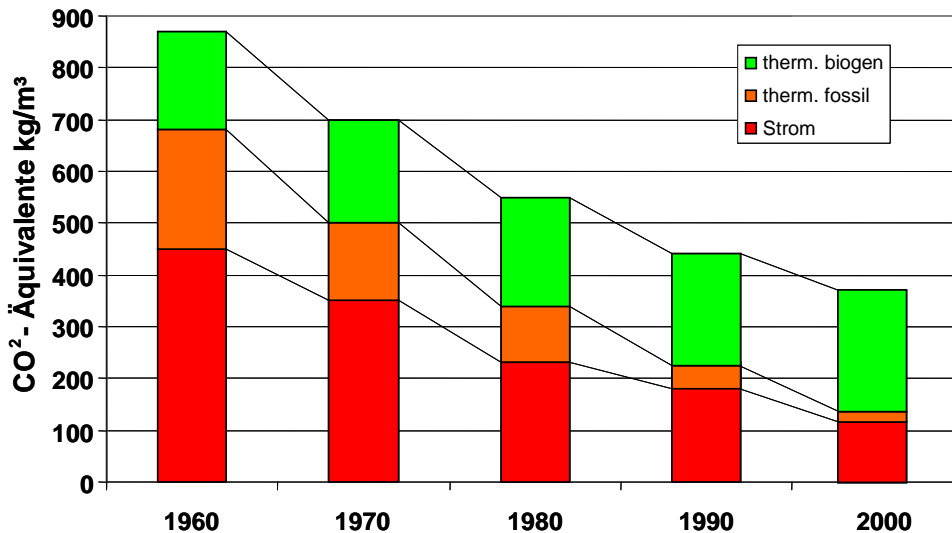


Abbildung 11: CO₂-Äquivalente kg/m³ Spanplatte Fortschritte in der Technologie

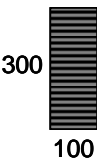
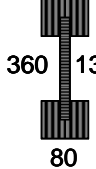
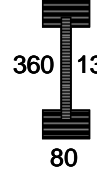
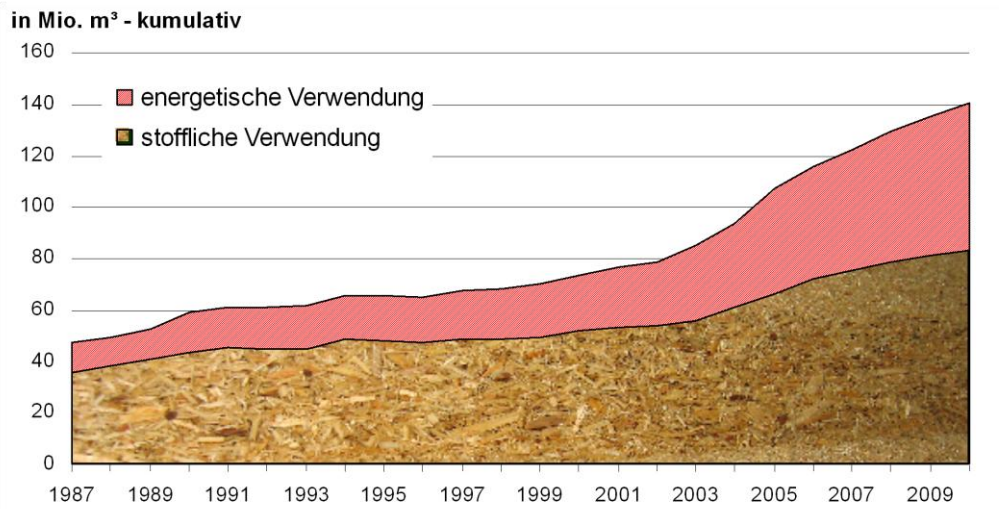
Ökologisches Profil von Trägersystemen gleicher Funktion	BSH	CSL/OSB	LVL/OSB
			
Flächenträgheitsmoment	22500 cm ⁴	20000 cm ⁴	17500 cm ⁴
Holzeinsatz für 10 m Länge (Rundholz)	0,70 m ³ Starkholz	0,22 m ³ Schwachholz	0,26 m ³ Starkh. 75% Schw. 25%
Energieeinsatz für 10 m davon fossil biogen	1400 MJ 57 % 43 %	900 MJ 37 % 63 %	1300 MJ 50 % 50 %
CO ₂ -Äquivalente für 10 m(fossil)	33 kg	17 kg	27 kg

Abbildung 12: Energie-/Kohlenstoff-Bewertung für Trägersysteme

4. Stoffliche und energetische Nutzung, Altholz

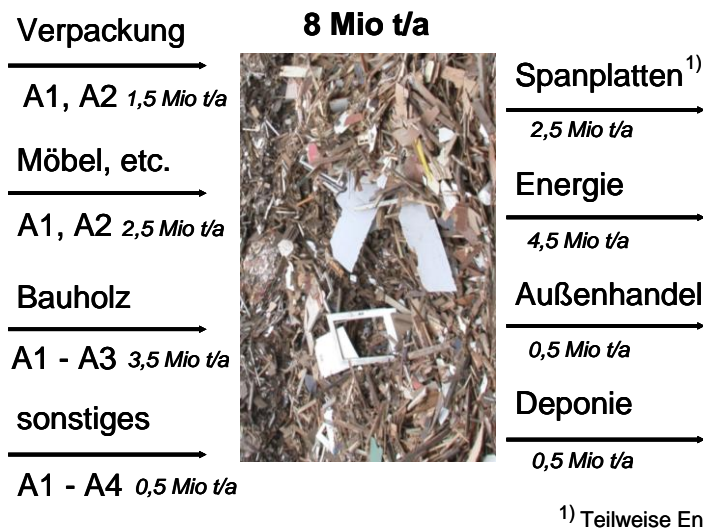
Abbildung 13 zeigt den Verlauf der Verwendung von Holz von 1987 bis 2009. Die Werte sind kumulativ, das heißt schließt alle Formen der Kaskadennutzung ein. Deutlich wird (a) die Verwendung von Holz (direkt aus dem Wald und Importe) hat deutlich zugenommen, (b) 1987 betrug das Verhältnis von stofflicher zu energetischer Nutzung ca. 1:0,3, 2009 dagegen bereits ca. 1:0,7. Für die nächsten Jahre wird ein Verhältnis von 1:1 erwartet, aufgrund der politischen Energie- und CO₂-Ziele ist auch ein Verhältnis von 1:2 nicht unwahrscheinlich. Dieses hätte jedoch erhebliche wirtschaftliche und soziale Folgen. Zum Beispiel wird Bioenergie aus Holz subventioniert (z. B. Erneuerbare-Energien-Gesetz). Die derzeit 80 Mio. m³/Jahr stoffliche Nutzung beschäftigen wenigstens 800.000 Personen (100 m³/Jahr je Arbeitsplatz), für energetische Verwertung ist dieses nur ein deutlich geringer Teil davon.



Mantau et. al. 2007

Abbildung 13: Stoffliche und energetische Verwendung von Holz in Deutschland

Altholz spielt eine zunehmende Rolle, auch weil die Deponierung seit Jahren prinzipiell verboten ist. Abb. 14 zeigt Aufkommen und Verwertung, wo bei die Verwertung für Spanplatten und der Außenhandel zugunsten der Energie deutlich abnehmen. Dass dieses prinzipiell ökologisch sinnvoll ist zeigt Abb. 15 nach der die energetische Verwertung am sinnvollsten ist (ökologische Kriterien u. a. FV = Flächenverbrauch, GWP = CO₂-Emissionen, VP = Versauerungspotential, EP = Überdüngungspotential).



¹⁾ Teilweise Energie

Abbildung 14: Altholz: Aufkommen und Verwertung (Stand etwa 2007)

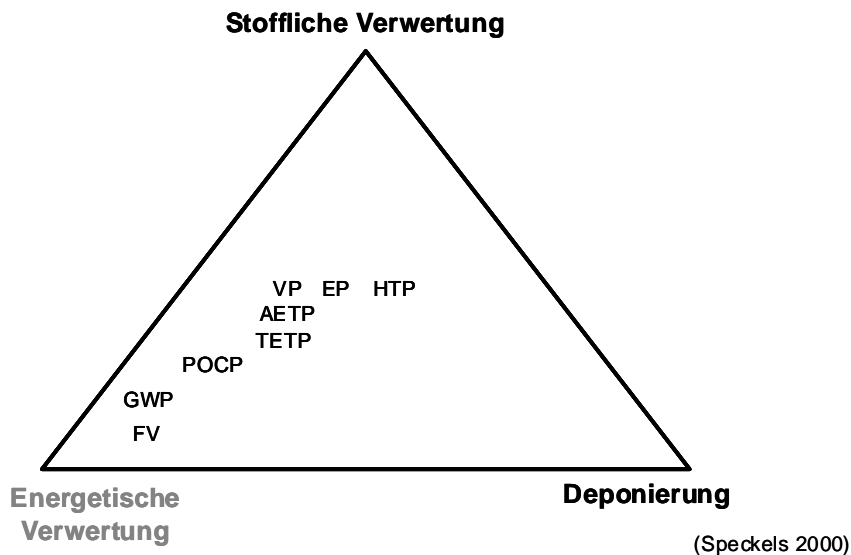
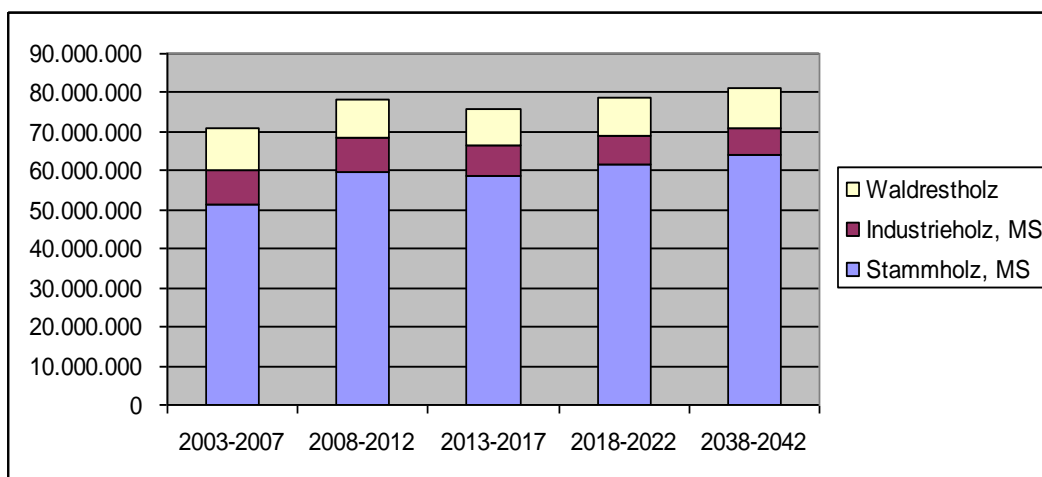


Abbildung 15: Verwertungsstrategien von Altholz aus ökologischer Sicht (für Altholzklassen A 1 + A 2)

5. Haben wir genug Holz für die (stoffliche) Zukunft?

Die Zunahme der stofflichen und energetischen Verwendung von Holz wirft die Frage nach der zukünftigen Versorgung auf. Abbildung 16 zeigt einige Ergebnisse der sogenannten Inventurstudie in der die Ergebnisse der Bundeswaldinventuren 1995 und 2005 zusammengefasst sind. Demnach kann bis 2040 mit einer Steigerung des Holzeinschlages (verglichen mit dem nachhaltigen Zuwachs) von wenigstens 80 Mio. m³ gerechnet werden, gegenüber 70 – 75 Mio. m³ heute.

Auf europäischer Ebene wurden in der sogenannten EFSOS-Studie Aufkommens- und Verbrauchsbereiche analysiert (Abbildung 6). Demnach wurden 2007 mit ~ 460 Mio. m³/Jahr ca. 10 % mehr genutzt als dem Aufkommen entsprach. Das Aufkommen hat ein zusätzliches Potential ohne verändertes Waldmanagement oder Aufforstungen/Plantagen von 20 -30 %.



(Quelle: Inventurstudie)

Abbildung 16: Potentielles Rohholzaufkommen (Erntefestmaß o. R.) [m³/a] nach Sorten und Prognoseperioden

Tabelle 6: Europäische Holzbilanz (Mantau et. al. 2007/EFSOS-Studie)

	Aufkommen		Verbrauch		
	Mio. m ³ /J	%	Mio. m ³ /J	%	
Rund-/Industrieholz	403	52	458	56	Sägewerk-/Holzwerkstoff-/ Papier/Zellstoffindustrie
Energieholz	87	11	55	8	Energiebereich (Pellets etc)
Rinde	12	2	61	7	Energie Industrie
Waldrestholz genutzt	17	2	96	12	Energie Privat Haushalte
Landschafts-“Holz“ u. ä.	13	2	138	17	Energie - nicht differenziert
Industrierestholz	122	16			
Zellstoff/Papier	72	9			Fazit: 56 % stofflich
Altholz	42	5			44 % energetisch
Aufbereitetes Energieholz	6	1			

6. Schlussfolgerungen

Insgesamt zeigt sich, dass die Verwendung von Holz für Produkte (bes. auch langlebige) große Vorteile gegenüber einer direkten energetischen Nutzung und gegenüber Produkten aus Nicht-Holz-Materialien hat. Dieses sollte in die praktische Politik eingehen. Im Einzelnen ist festzustellen:

1. Wälder sind wichtige Kohlenstoffsinken
1 ha ca. 300 m³ Holz, 450 m³ Biomasse
→ 250 t C → 900 t CO₂
Im deutschen Wald sind die Emissionen von elf Jahren gespeichert
Die zusätzliche jährliche Nettospeicherung beträgt zwischen 4 % und 7 % der Emissionen. Aber durch Nutzung wird wieder C freigesetzt, allerdings wird die C-Speicherung in Produkten fortgesetzt.
2. Wälder sind wichtige Naturräume und haben Schutzfunktionen für Luft, Wasser, Pflanzen- und Tierarten u. a.
3. Wälder sind wichtige Lieferanten für Rohstoffe und Energie
→ 1m³ Holz je Einwohner pro Jahr für Holzprodukte, Papier usw.
→ liefern nachhaltige Energie.
4. Holzprodukte speichern Kohlenstoff → langlebige Holzprodukte.
5. Holzprodukte brauchen wenig Energie zur Herstellung. Theoretisch kann diese Energie aus Restholz der Verarbeitung erzeugt werden Nach Gebrauch kann aus Holzprodukten Energie erzeugt werden.
6. Nach Gebrauch kann aus Holzprodukten Energie erzeugt werden.
7. Wälder und Holzprodukte stehen in einem stofflichen und energetischen Kreislauf.
8. Wälder und Holzprodukte sind wirksame Instrumente um Klimawandel zu verhindern bzw. gering zu halten
9. Forst- und Holzwirtschaft sind wichtige Wirtschaftsfaktoren mit sozialer Kompetenz

7. Literatur

- [1] M. Scharai-Rad and J. Welling: Environmental Energy Balances of Wood Products and Substitutes. FAO Rome, 2002.
- [2] Ökologische Potentiale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt, 2008. www.oekopot.de

Weitere spezifische Literatur zur einzelnen Themen/Fragen direkt beim Autor:
a.fruehwald@holz.uni-hamburg.de