

Endbericht

CO₂-Bilanzierung von Bauprodukten

Aktuelle Praxis der Klimabewertung von Holz- und Massivbaustoffen – Überlegungen zu neuen methodischen Ansätzen der Bilanzierung

Doz. Dr. Andreas Windsperger
DI Bernhard Windsperger

Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten



Auftraggeber:



St. Pölten, Mai 2015

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Einleitung.....	4
2 Charakteristik von mineralischen und biogenen Produkten	8
2.1 Massive (mineralische) Produkte	8
2.2 Biogene Produkte	10
3 Ziel- und Fragestellung	14
4 Derzeitige Klimabewertung von Produkten auf unterschiedlichen Ebenen.....	15
4.1 Nationale Ebene	15
4.1.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen.....	15
4.1.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs	15
4.1.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs	24
4.2 Betriebsebene.....	26
4.2.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen.....	26
4.2.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs	28
4.2.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs	28
4.3 Produktebene – Lebenszyklusanalyse (LCA)	29
4.3.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen.....	29
4.3.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs	31
4.3.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs	31
4.4 Resümee	32
5 Praxis der Klimabewertung von Holz- und Massivbaustoffen	34
5.1 Praxisbeispiele für Holzprodukte.....	34
5.1.1 EPD Brettschichtholz (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.)	34
5.1.2 EPD Massivholzplatte (KLH Massivholz GmbH)	35
5.1.3 EPD Mitteldichte Faserplatte (MDF) (Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.)	36
5.1.4 EPD Laminatboden (Parador GmbH & Co. KG)	36
5.2 Praxisbeispiele für mineralische Produkte	37
5.2.1 EPD für Betonlärmschutzwand (Bundesverband Leichtbeton e.V.)	37
5.2.2 EPD Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	38
5.2.3 EPD Ziegel (Wienerberger AG)	39
5.2.4 EPD Öko-Kalksteine (MEIER Betonwerke GmbH)	40
5.3 Resümee	41

6	Aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen zur CO ₂ -Bilanzierung	43
6.1	Derzeitiger Ansatz – Standard-Methodik der IEA Bioenergy Task 38	43
6.2	Neue wissenschaftliche Ansätze – Überarbeitung der Standard-Methodik durch Einbeziehung zeitlicher Aspekte	46
6.2.1	Thermische Nutzung von Holzbiomasse	46
6.2.2	Stoffliche Nutzung von Holzbiomasse.....	47
6.2.3	Nutzung von Reststoffen aus Holzbiomasse	48
6.3	Wasser-Fußabdruck („water footprint“)	49
7	Mögliche Umsetzung aktueller wissenschaftlicher Entwicklungen.....	50
7.1	Auswirkungen auf die thermische Holznutzung.....	50
7.2	Auswirkungen auf die stoffliche Holznutzung.....	54
7.3	Auswirkungen auf Bauprodukte	55
8	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	56
9	Literaturverzeichnis.....	59
	Abbildungsverzeichnis.....	65
	Tabellenverzeichnis	66
	Begriffsdefinitionen.....	67
	Abkürzungsverzeichnis.....	72

1 Einleitung

Wie der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) in seinem kürzlich erschienenen fünften Sachstandsbericht erneut verdeutlicht, kann ein stattfindender Klimawandel mit möglichen weitreichenden Folgen nicht weiter abgestritten werden (IPCC 2013). Diese globale Veränderung des Klimas wird auch von PAZDERNIK et al. (2014) bestätigt, indem die durchschnittliche Oberflächentemperatur in dem letzten Jahrhundert um ungefähr 0,6 bis 0,9°C zugenommen hat. Dieser Trend der globalen Erwärmung wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch weiter verschärft werden und je nach Szenario einen Temperaturanstieg zwischen 1,8 und 4°C erreichen.

Ebenfalls bewiesen ist mittlerweile der Einfluss des Menschen auf diese Veränderung des Klimas. Dies lässt sich mit einem in den letzten Jahren deutlichem Anstieg der globalen Treibhausgasemissionen erklären, die durch verschiedenste Aktivitäten in die Atmosphäre freigesetzt werden. Dabei wird in der Regel von den Gasen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) gesprochen, die die größten Einflussfaktoren für den Klimawandel sind (siehe Abbildung 1) (IPCC 2013 und VAN DAM et al. 2004). Abbildung 1 zeigt weiter die besondere Bedeutung des Kohlendioxids (CO₂) innerhalb der Treibhausgase, indem es einen deutlich höheren Strahlungsantrieb als die restlichen Gase besitzt.

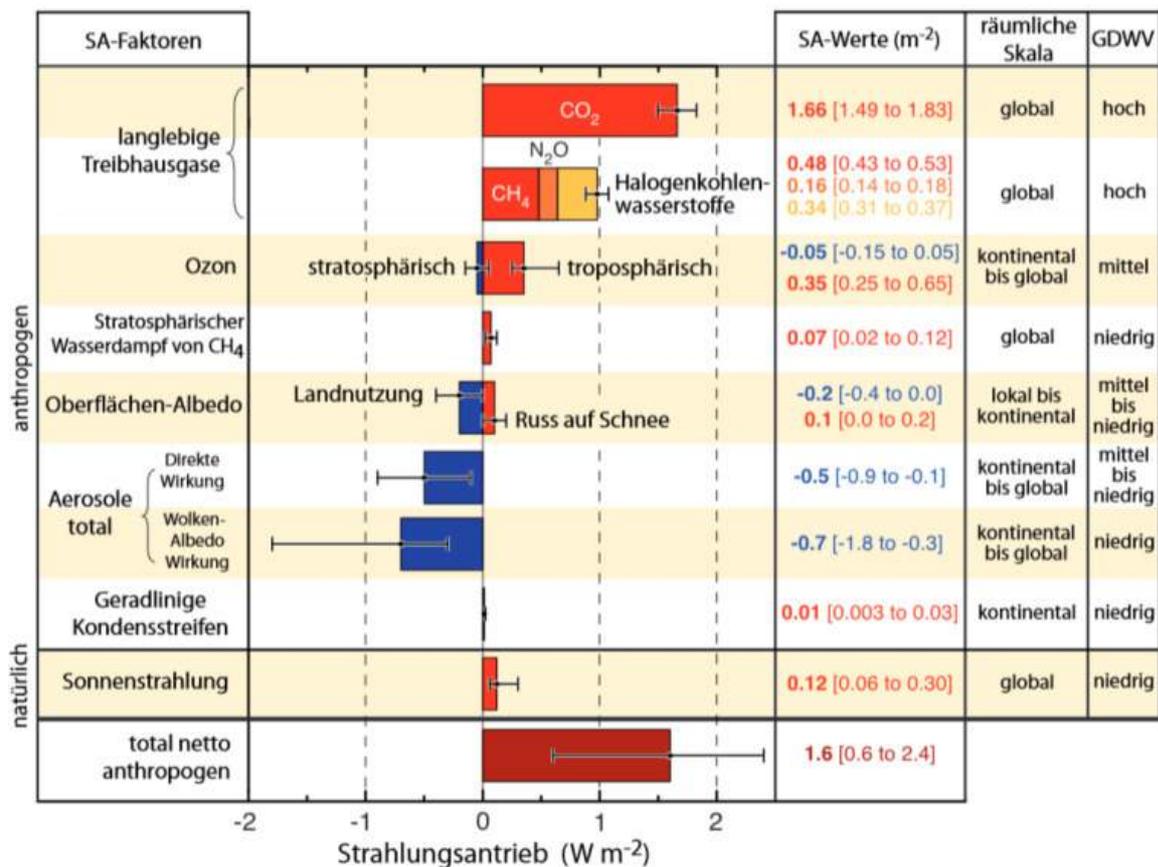


Abbildung 1: Hauptantriebskräfte für die Verstärkung/Abschwächung des Klimawandels (IPCC 2007)
 SA= Strahlungsantrieb
 GDVV= Grad des wissenschaftlichen Verständnisses

Die vor allem in den letzten Jahren deutlich ansteigende Bedeutung bzw. Aufmerksamkeit für den Klimawandel seitens der Politik, als auch der Industrie und der Öffentlichkeit, kann laut IPCC (2013) zum Einen mit der rasanten Zunahme des stärksten Treibhausgases CO₂ erklärt werden (Abbildung 2). Auf der anderen Seite werden häufiger auftretende Extremereignisse immer öfter mit dem Klimawandel als mögliche Ursache in Verbindung gesetzt.

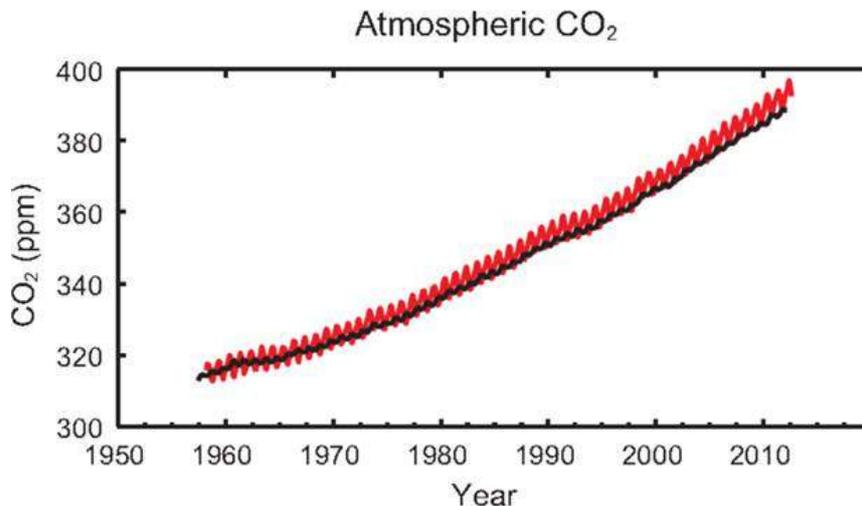


Abbildung 2: Konzentration an CO₂ in der Atmosphäre von 1950-2010 (IPCC 2013)

Laut PAZDERNIK et al. (2013) könnte vor allem Österreich durch den Klimawandel massiv betroffen sein, da die in Österreich vorhandenen Alpen- und Donaugebiete in den letzten Jahren von einem höheren Anstieg der Temperatur als der globale Durchschnitt geprägt waren. Für andere Parameter wie den Niederschlag könnte es ebenfalls zu erheblichen Veränderungen kommen (z.B. Häufigkeit, Intensität oder zeitliches Auftreten), die jedoch allesamt mit großen Unsicherheiten behaftet sind und somit noch weiteren Forschungsbedarf besitzen. Derartige Themen werden aktuell in verschiedensten Forschungsprogrammen (z.B. StartClim, FloodRisk) bearbeitet.

Um die steigenden Treibhausgasemissionen und in weiterer Folge den Klimawandel in den Griff zu bekommen, müssen zunächst einmal die Hauptverursacher identifiziert werden, um mögliche Gegenmaßnahmen setzen zu können.

Wer sind nun aber die verantwortlichen Sektoren für die Freisetzung von Treibhausgasemissionen?

Diese Frage kann anhand nachfolgender Abbildung 3 (linke Grafik) beantwortet werden, in welcher die sektoralen Anteile der emittierten Treibhausgasemissionen in Österreich für das Jahr 2010 dargestellt sind. Daraus lässt sich erkennen, dass die „Industrie und das produzierende Gewerbe“ (29 %) sowie der „Verkehr“ (27 %) die mit Abstand klimaintensivsten Sektoren sind. Abbildung 3 (rechte Grafik) zeigt die Verschärfung der Situation in den letzten Jahren (seit 1990), wobei wiederum diese beiden Sektoren die deutlichsten Anstiege bei der Freisetzung von THG-Emissionen zu verzeichnen hatten.

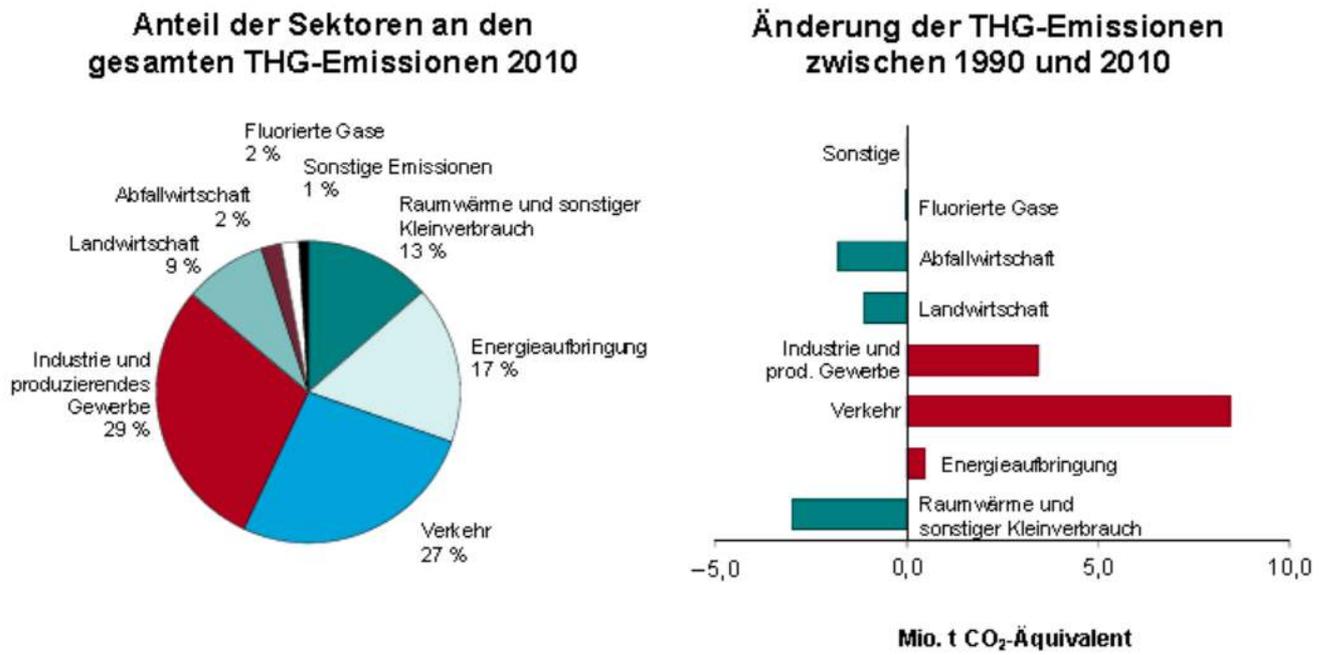


Abbildung 3: Anteil der Sektoren an den Treibhausgasemissionen in Österreich und deren zeitliche Entwicklung (JENNINGS et al. 2013)

Eine genauere Darstellung der Entwicklung der freigesetzten Treibhausgasemissionen für die gesamte österreichische Industrie ist in nachfolgender Abbildung 4 dargestellt. Dabei ist ein recht stabiler Verlauf zu erkennen, wobei im Jahr 2011 gegenüber dem Jahr 1990 insgesamt etwa 15 % mehr an CO₂-Äquivalenten freigesetzt wurden. Der deutlich ersichtliche Rückgang im Jahr 2009 kann vor allem durch die Wirtschaftskrise erklärt werden.

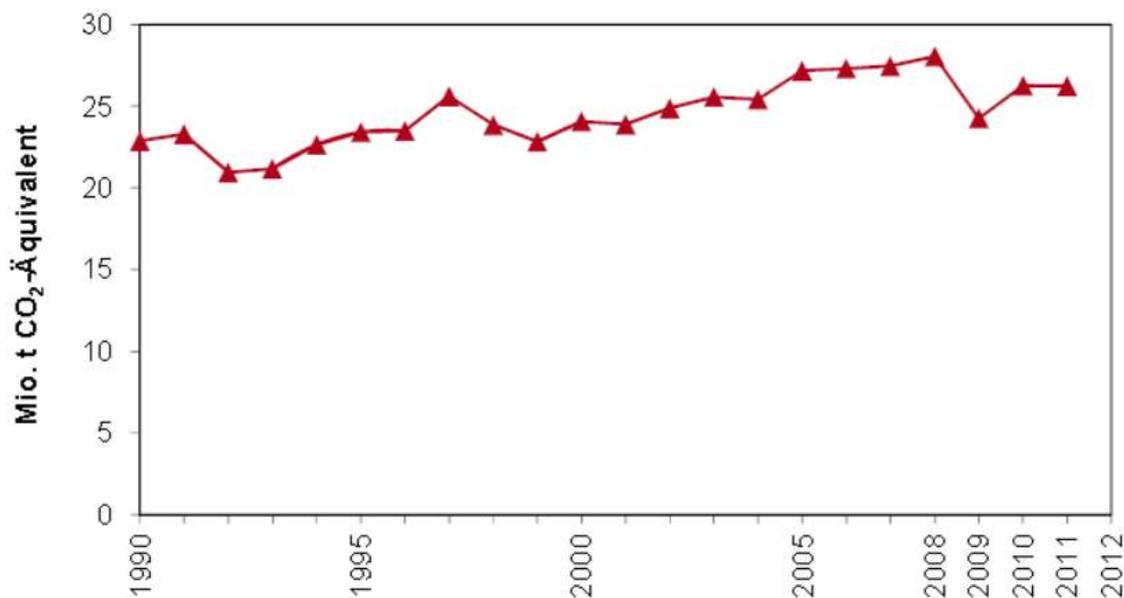


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen des Sektors Industrie von 1990-2011 (PAZDERNIK et al. 2013)

Innerhalb des Sektors sind für die Klimabelastungen der Energieverbrauch zu rund 61 % (durch den Einsatz von vorwiegend fossilen Energieträgern) und industrielle Prozesse zu rund 39 % verantwortlich. Von den Branchen innerhalb der Industrie zählen vor allem die Stahl- und Eisenproduktion, Papier- und Zellstoffindustrie, chemische Industrie und auch die Bau- und mineralverarbeitende Industrie zu den energieintensivsten (PAZDERNIK et al. 2013).

In den weiteren Ausführungen dieses Berichts werden speziell die mineralverarbeitenden (Stein- und Keramik) und Holzverarbeitenden Branchen der Industrie näher betrachtet und hinsichtlich Klimarelevanz untersucht.

Neben der Kenntnis über die klimaintensivsten Bereiche ist darüber hinaus auch zu klären, was der Grund für die bedeutende Menge an freigesetzten Treibhausgasemissionen ist. Diese Frage kann laut GRIMM et al. (2011) durch die derzeit auf fossilen Ressourcen basierte Wirtschaftsweise beantwortet werden, wie dies auch PAZDERNIK et al. (2013) für den Energieverbrauch der gesamten Industrie bestätigt. Die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Erdöl oder Kohle erzeugt große Mengen an Treibhausgasen, speziell das für den Klimawandel bedeutendste Kohlendioxid (CO₂), was auch IPCC (2013) bestätigt. Neben der klimaschädlichen Wirkung besitzen fossile Ressourcen auch den Nachteil ihrer endlichen Verfügbarkeit. Somit ist es sowohl für einen ernsthaften Klimaschutz, als auch für eine nachhaltige Sicherstellung der Energieversorgung essentiell, den Energieeinsatz auf nachwachsende und klimaschonende Energieträger sowie die thermische Nutzung von Abfällen und Reststoffen, ergänzt durch den Einsatz solarer Energieformen entsprechend ihren Möglichkeiten auszurichten. Auch bei der stofflichen Nutzung sollten erneuerbare Ressourcen verstärkt eingesetzt werden, in vielen Anwendungsbereichen sind allerdings metallische und mineralische Produkte weiterhin unverzichtbar. Allerdings sollte die entstehende Treibhausgasemission bei Herstellung und gegebenenfalls Verwendung möglichst gering gehalten und nach dem Stand der Technik begrenzt werden. Generell sollte dieses Prinzip der möglichst weitgehenden Verringerung von Treibhausgasemissionen für alle Produktbereiche gelten. Es ist daher wichtig, die THG-Intensität der Herstellung und Verwendung von Produkten zu ermitteln, wobei auch die Entsorgungsseite einzubeziehen wäre. Neben der nationalen Ebene, die eine Bestandsaufnahme der zeitlichen Entwicklung der THG-Emissionen darstellt, sind hierfür auch die betriebliche Ebene und jene der Produkte zu betrachten. Auf Produktebene werden verstärkt Lebenszyklusanalysen verwendet, die den gesamten Lebensweg des Produktes von der Bereitstellung über Nutzung bis hin zur Entsorgung betrachten.

2 Charakteristik von mineralischen und biogenen Produkten

2.1 Massive (mineralische) Produkte

Bei der Herstellung mineralischer Produkte beispielsweise von Zement oder Ziegel entstehen Treibhausgasemissionen, deren Ursprung und Entwicklung nachfolgend näher erläutert werden.

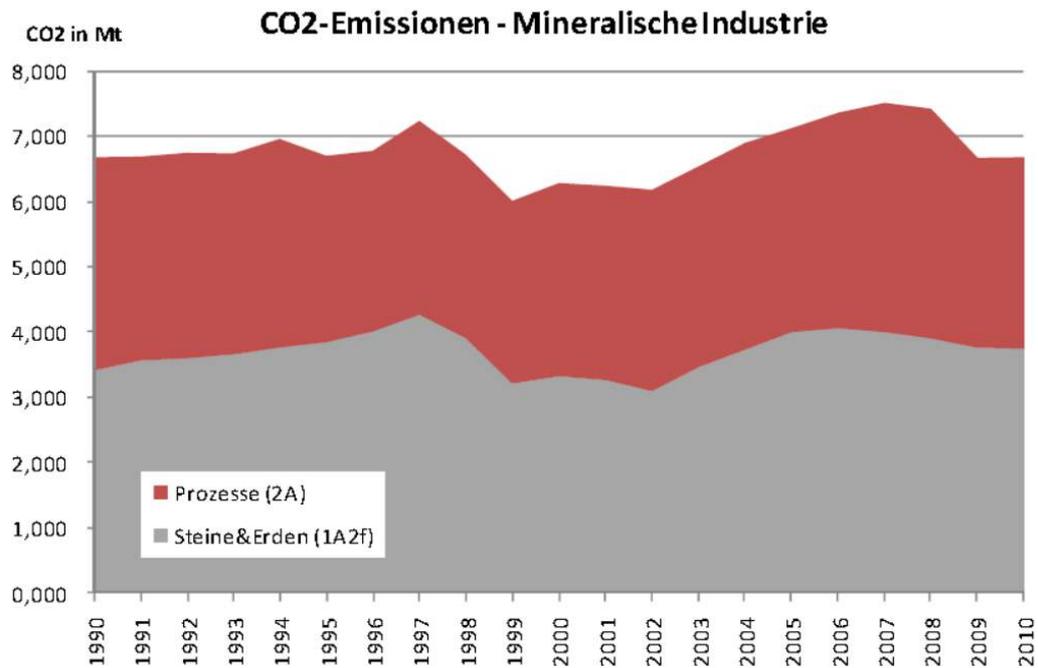


Abbildung 5: CO₂-Emission der mineralischen Industrie (PAZDERNIK et al. 2012)

Prozesse...Emissionen aus Prozessen

Steine & Erden...Emissionen aus dem Energieträgereinsatz der stein- und keramischen Industrie

Die mineralverarbeitende Industrie erzeugt laut PAZDERNIK et al. (2013) rund 4 % der gesamten österreichischen Treibhausgasemissionen (Stand 2011). Seit dem Jahr 1990 konnten diese insgesamt um 11 % reduziert werden. Innerhalb der mineralischen Industrie sind vor allem prozessbedingte Emissionen bedeutend, wie auch in Abbildung 5 zu sehen ist. Ein Großteil der Emissionen (mehr als die Hälfte) entsteht dabei bei der Herstellung von Zementklinker. Die restlichen Emissionen stammen aus der Kalkherstellung, der Ziegelproduktion etc.

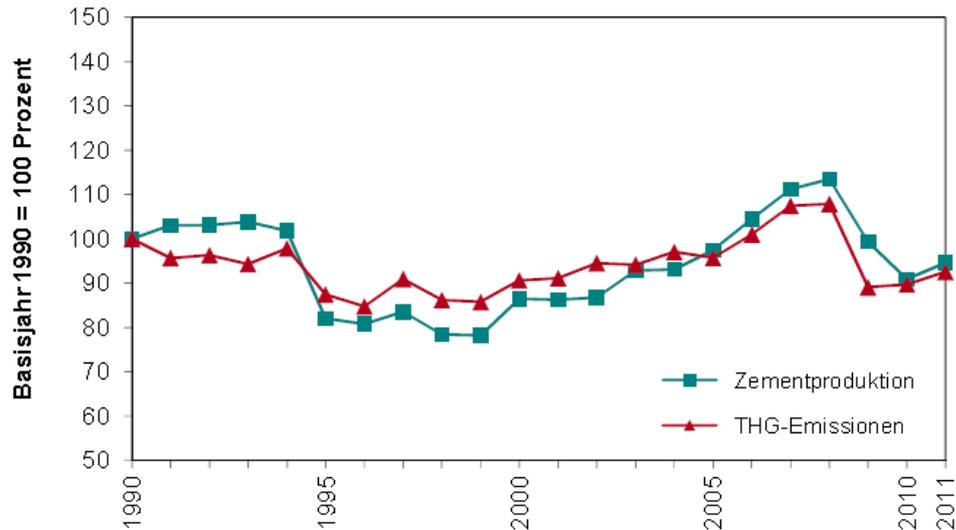


Abbildung 6: Zementproduktion und THG-Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie (JENNINGS et al. 2013)

Auch wenn die prozessbedingten Emissionen für eine Reduktion von Treibhausgasen ein bedeutender Ansatzpunkt zu sein scheinen, ist die Reduktion nur begrenzt möglich, da sie durch die Dekarbonisierung des Kalksteins verursacht werden (PAZDERNIK et al. 2014). Trotzdem zeigt sich im Verlauf, dass seit 2005 die CO₂-Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie niedrigere Werte aufweisen als die Zementproduktion (siehe Abbildung 6). Bei den energiebedingten Emissionen handelt es sich vor allem um Emissionen durch den Abbau der Materialien mit Baumaschinen, Sprengungen, etc. und das Betreiben der Anlagen (Öfen) für die Herstellung der Produkte (PERL et al. 2010).

Allerdings setzt die mineralverarbeitende Industrie nicht nur Emissionen frei, sondern entzieht der Atmosphäre auch Kohlendioxid. Verantwortlich dafür ist die Re-Karbonatisierung, bei der CO₂ aus der Atmosphäre gebunden und in Verbindung mit Kalziumoxid zu Kalziumcarbonat umgewandelt wird. Durch derartige Prozesse werden ungefähr 5 bis 25 % der freigesetzten Emissionen bei der Zementherstellung wieder aufgenommen. Die tatsächliche Entnahme von CO₂ während der Re-Karbonatisierung hängt dabei vor allem von der verwendeten Menge an Zement- und Kalkprodukten und der damit verbundenen Menge an Kalziumoxid ab. Da verschiedenste Zusammensetzungen und Arten von Zement verfügbar sind, variieren die entsprechenden Kohlendioxidaufnahmen in etwa zwischen 255 und 330 kg pro Tonne Zement (ENGELSON and JUSTNES 2014).

Insgesamt können Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie durch verschiedenste Maßnahmen reduziert werden:

- Moderne Ofentechnologien
- Steigerung der Energieeffizienz
- Minderung des Klinkeranteils im Zement
- Ersatz von fossilen Brennstoffen durch Alternativbrennstoffe und Biomasse

Aus ökonomischen Gründen werden in der mineralverarbeitenden Industrie in den letzten Jahren vor allem verstärkt Abfallsegmente, wegen der Klimathematik zunehmend biogene Abfälle, eingesetzt. Diese „Substitution“ von fossilen Brennstoffen durch so genannte Ersatzbrennstoffe stieg deren Anteil besonders seit 2008 von knapp über 50 % bis auf 65 % im Jahr 2011 deutlich an (siehe Abbildung 7).

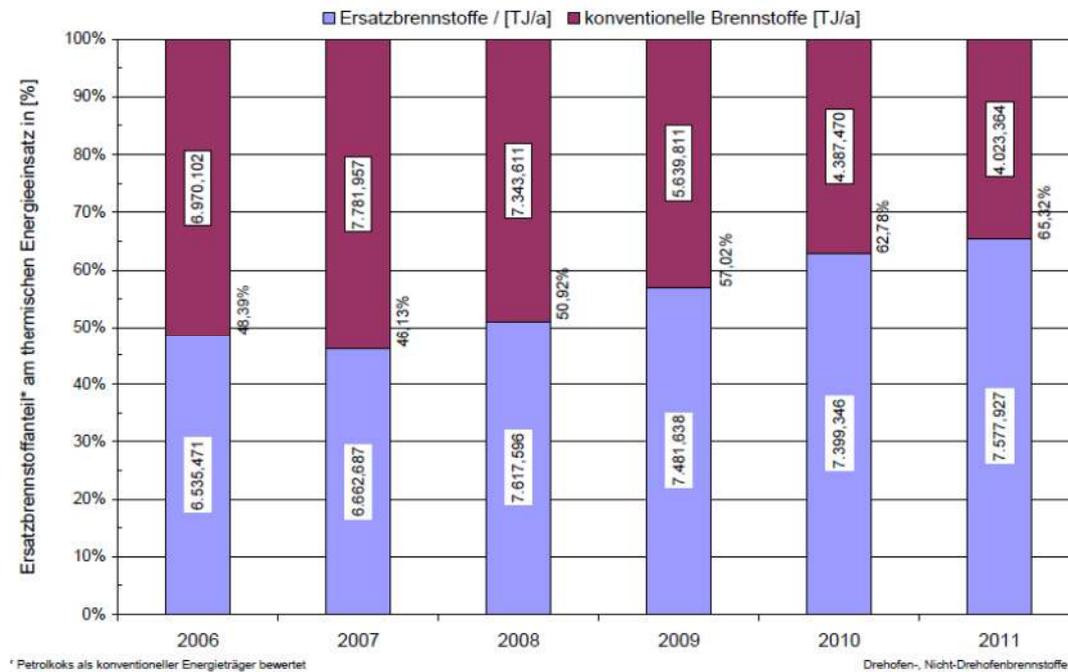


Abbildung 7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in der Zementindustrie (WINDSPERGER 2013)

2.2 Biogene Produkte

Neben mineralischen Produkten werden im Zuge dieser Arbeit auch biogene Produkte betrachtet. Biogene Rohstoffe werden als mögliche Alternative zu den derzeit dominierenden fossilen Ressourcen angesehen und nach LECHNER et al. (2012) und BMUNR und BMELV (2010) könnte Biomasse in Zukunft eine zentrale Bedeutung als erneuerbarer Rohstoff und Energieträger einnehmen. Biomasse ist einerseits als nachwachsender Rohstoff für eine Sicherung der Rohstoff- und Energieversorgung und andererseits durch die derzeit angenommene CO₂-Neutralität für den Klimaschutz ein bedeutender Eckpfeiler, deren Klimaschutzpotentiale aber maßgeblich von der Bewertungsmethodik abhängen. Die derzeit angenommene Kohlenstoff-Neutralität ergibt sich laut LECHNER et al. (2012) durch die Einbindung in den Kohlenstoffkreislauf. In der Wachstumsphase baut beispielsweise ein Baum durch seine Photosyntheseleistung Biomasse auf. Dafür benötigt er Kohlendioxid, genauer gesagt den darin enthaltenen Kohlenstoff aus der Atmosphäre sowie Sonnenenergie. Dieses entzogene CO₂ wird bei Verbrennen oder Verrotten der Biomasse wieder in die Atmosphäre freigesetzt, wodurch sich ein Kreislauf ergibt (siehe Abbildung 8). Grundvoraussetzung für eine angenommene CO₂-Neutralität ist allerdings eine nachhaltige Waldbewirtschaftung, wobei die Entnahme den Zuwachs nicht übersteigen darf.

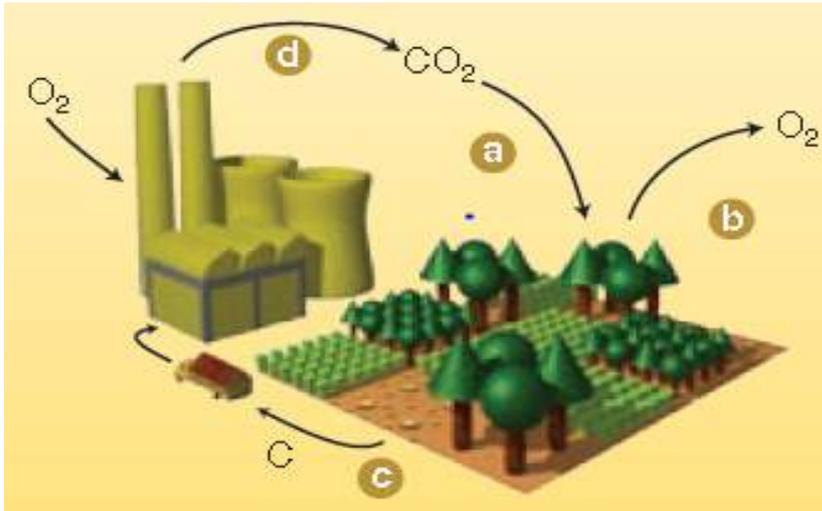


Abbildung 8: Schema der CO₂-Neutralität von Biomasse (MATTHEWS und ROBERTSON 2005)

- a....CO₂ wird durch die wachsenden Pflanzen absorbiert
- b....Sauerstoff entsteht durch die Photosynthese und Kohlenstoff wird in der Biomasse gespeichert
- c....Kohlenstoff wird nach der Ernte zum Kraftwerk transportiert
- d....Kraftwerk verbrennt Biomasse und emittiert den von Pflanzen gespeicherten Kohlenstoff

Nachfolgend soll ein kurzes Beispiel verdeutlichen, wie viel CO₂ in einem Kubikmeter Holz enthalten ist (nach CEN/TC 175 2013):

Ein Kubikmeter Holz besitzt eine Dichte von 450 kg Trockenmasse (TM) pro m³, das bedeutet, dass ein Festmeter Holz 450 kg trockenem Holz entspricht. Unter Berücksichtigung des Kohlenstoffanteils (0,5 kg C/kg TM) reduziert sich die Menge auf 225 kg Kohlenstoff (C). Für die Umrechnung zwischen Kohlenstoff und Kohlendioxid benötigt man schließlich die jeweiligen Molmassen, 44 (CO₂) und 12 (C) (BHATIA et al. 2011a).

Nach folgender Formel kann nun die Menge an Kohlendioxid errechnet werden:

$$t \text{ CO}_2 = t \text{ C} * (44/12)$$

Für das angenommene Beispiel ergibt sich somit:

$$225 \text{ kg C} * (44/12) = 825 \text{ kg CO}_2$$

Wälder stellen somit ein wesentliches Glied im CO₂-Kreislauf dar, da sie große Mengen an Kohlenstoff in Form von Holz vorübergehend binden. Sie weisen darüber hinaus maßgebliche Funktionen für das Ökosystem, aber auch für den Menschen (Erholung, Schutzwald) auf. Allerdings wären bei einer gesamtheitlichen Beurteilung auch mögliche Emissionen bei der Zersetzung von Biomasse sowie Veränderungen der Rückstrahlung der eintreffenden Sonnenenergie (Albedo) zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Klimarelevanz kann Biomasse, wie bereits beschrieben, neben einer sofortigen Verbrennung auch in eine stoffliche Nutzung und somit in eine Verlängerung der Wertschöpfungskette übergehen. Während dieser Nutzungsphase wird Kohlenstoff in den Produkten gebunden und eine Art Kohlenstoffreservoir (Kohlenstoffpool) aufgebaut. Überwiegt am Ende des Produktlebenszyklus die Speicherung von Kohlendioxid gegenüber

der Abgabe, spricht man von einer Senke, umgekehrt von einer Quelle für CO₂ (MATTHEWS und ROBERTSON 2005). Eine mögliche Kohlenstoffspeicherung ist für die Betrachtung der Klimarelevanz von Holzbiomasse somit von besonderem Interesse. Derzeit stellen beispielsweise die Wälder auf der Nordhalbkugel eine deutliche Netto-CO₂-Senke dar (PISTORIUS 2007).

Speziell die Holzbiomasse ist vor allem in Österreich durch ihre großflächige Verfügbarkeit von besonderem Interesse. Auf diesem Gebiet kann Österreich auf eine langjährige Erfahrung im Bereich der Nutzung von Holzbiomasse, sowohl stofflich (z.B. Baustoff) als auch thermisch (z.B. Raumwärme), zurückgreifen. Mittlerweile können Produkte aus Holzbiomasse in einem sehr breiten Produktportfolio für eine Vielzahl von unterschiedlichen Branchen eingesetzt werden. Die gesamte Holzverarbeitungskette umfasst dabei die Säge-, Möbel-, Papier- oder Plattenindustrie. Trotz dem in den letzten Jahren deutlichen Anstieg des Energieeinsatzes dieser Branche, zählt sie noch immer zu denen mit einer relativ geringen Energieintensität. CO₂ Emissionen sind in dieser Branche trotz der angenommenen CO₂-Neutralität ein Thema. Als Energieträger dominieren neben biogenen Energieträgern Strom und Erdgas. Insgesamt ist die CO₂-Intensität des Energieeinsatzes aber gering und leicht sinkend, wie der Verlauf des Emissionsfaktors (EF) in nachfolgender Abbildung zeigt. Trotzdem ergibt sich durch die steigenden Produktionsmengen und höherem Energieeinsatz insgesamt eine leichte Zunahme der CO₂-Emissionen im Vergleich zu 1990 (siehe Abbildung 9).

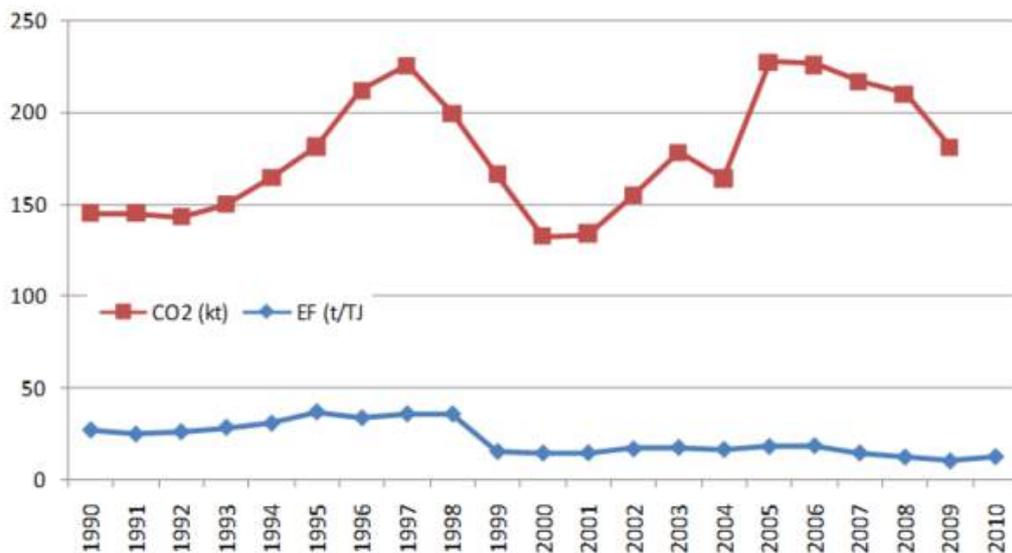


Abbildung 9: CO₂-Emissionen der Holzverarbeitenden Industrie (Windsperger 2013)

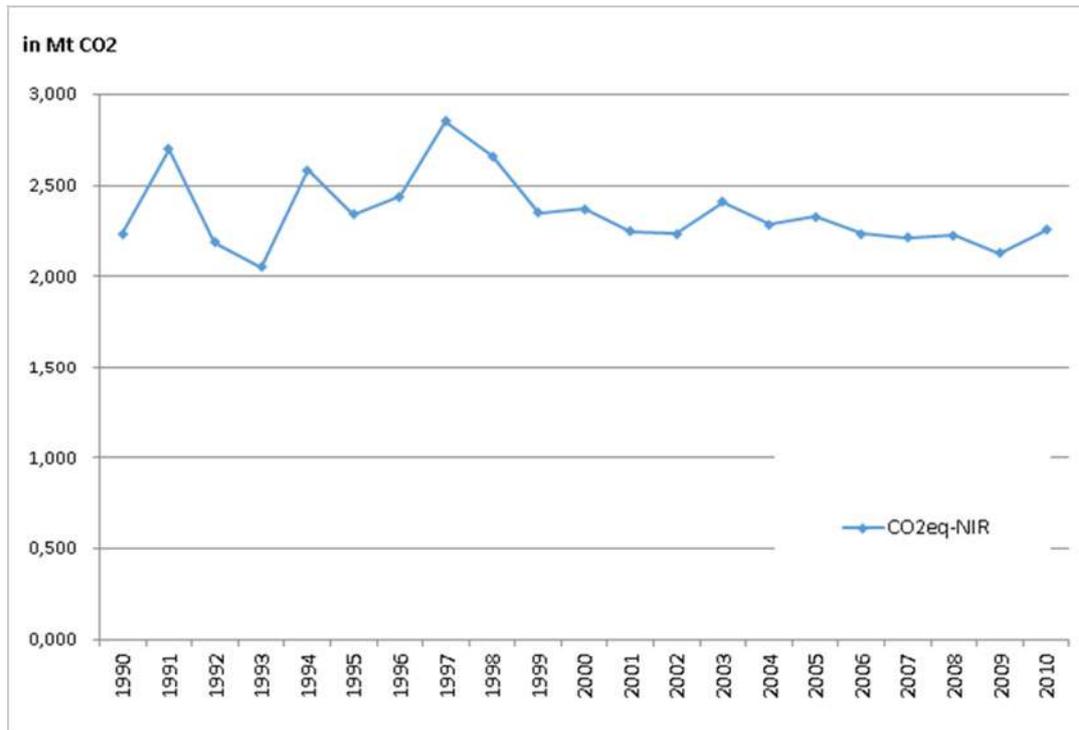


Abbildung 10: CO₂-Emissionen der Papierindustrie (Windsperger 2013)

In Abbildung 10 ist am Verlauf der Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) für die Papierindustrie trotz steigendem Energieeinsatz speziell in den letzten Jahren tendenziell ein leichter Rückgang erkennbar. Insgesamt entspricht die Höhe in etwa dem Niveau vor rund 20 Jahren.

Um aber Holz bestmöglich und mit höchster Effizienz nutzen zu können, gilt eine vorrangige stoffliche mit darauffolgender energetischer Nutzung als beste Variante. Bei einer derartigen Kaskaden- oder Koppelproduktnutzung werden mehrere Prozessschritte der stofflichen Nutzung hintereinander oder nebeneinander geschaltet, um mehrere Produkte aus einem Rohstoff herstellen zu können (ARNOLD et al. 2009 und TAVERNA et al. 2007).

ARNOLD et al. (2009) sehen für Biomasse neben den Vorzügen wie nachhaltige Rohstoffversorgung und Reduktion von Umwelt- und Klimabelastungen allerdings auch gewisse Nachteile. Dabei ist vor allem die Flächenkonkurrenz zu nennen, indem vorhandene Flächen auch anderswertig genutzt werden könnten (z.B. für die Nahrungs- oder Futtermittelindustrie).

3 Ziel- und Fragestellung

Für die Planung und Umsetzung eines ernsthaften und globalen Klimaschutzes ist eine Analyse und Bewertung der Klimarelevanz von verwendeten Rohstoffen und Produkten Voraussetzung, um die erwarteten und bewirkten Verbesserungen auch konkretisieren und quantifizieren zu können. Für die Bewertung der Klimabelastung wird Kohlendioxid als bedeutendstes Treibhausgas ausgewählt. Dabei werden sowohl biogene als auch mineralische Produkte und deren CO₂-Emissionen berücksichtigt. Die weiteren Ausführungen betrachten vorhandene Bewertungssysteme, die klimarelevante Analysen von Produkten beinhalten, auf unterschiedlichen Ebenen (national, betrieblich und Produktebene) und mögliche Unterschiede vor allem in der Bewertung von Rohstoffen biogenen und mineralischen Ursprungs. Darüber hinaus sind auch aktuelle Entwicklungen auf wissenschaftlicher Ebene nicht zu vernachlässigen, da jede Veränderung der Bewertungsmethodik auch maßgeblich für politische Entscheidungen ist. Für die Kohlenstoffbilanzierung von Holzbiomasse werden dabei die wissenschaftlichen Ansätze der IEA (International Energy Agency) Bioenergy Task 38 betrachtet.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Praxis der Bewertung der Klimarelevanz von Holzprodukten und von Massivprodukten dargestellt. Dazu werden zunächst die Bewertungssysteme auf den unterschiedlichen Ebenen, auf denen Bewertungen der Klimarelevanz durchgeführt werden, identifiziert und die jeweiligen Methoden analysiert. Bei den Ebenen wird dabei zwischen nationaler, betrieblicher und der Ebene von einzelnen Produkten differenziert. Es soll dabei die Frage geklärt werden, in welchem Umfang eine Klimabewertung (CO₂-Bilanzierung) für die einzelnen Ebenen durchgeführt wird und wie die methodische Vorgehensweise aussieht. Dabei sollen die jeweiligen Zielausrichtungen, Systemgrenzen und speziell die Bilanzierungsmethodik für Emissionen biogenen und mineralischen Ursprungs herausgearbeitet werden, falls dies auf der jeweiligen Ebene enthalten ist (Kapitel 4). Mögliche Diskrepanzen in der verwendeten Bilanzierungsmethodik werden aufgezeigt und anhand von Praxisbeispielen (Durchsicht von Lebenszyklusanalysen von Produkten) bestätigt bzw. ergänzt (Kapitel 5). In weiterer Folge werden aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen zu neuen methodischen Ansätzen geprüft und analysiert, um daraus mögliche Veränderungen im Vergleich zu der derzeit angewendeten Bilanzierungsmethodik erkennen zu können (Kapitel 6). Dies betrifft vor allem den methodischen Ansatz, die Bilanzierung mit dem Eingriff in die Natur zu beginnen, wonach die Einbeziehung einer bereits erfolgten Kohlenstoffspeicherung, die eine Grundlage der CO₂-Neutralität von Holz ist, nicht gerechtfertigt wäre. Anschließend sollen mögliche Auswirkungen durch eine veränderte Bewertungsmethodik sowohl für biogene als auch mineralische Rohstoffe und Produkte herausgearbeitet werden. Dieser Arbeitsschritt soll mit Hilfe eines selbst erstellten Modells durchgeführt werden, in dem verschiedene Szenarien erstellt werden können (Kapitel 7). Die etwaige Entwicklung einer derartigen Methodik wird nach den derzeit geltenden Regeln unter Berücksichtigung laufender methodischer Entwicklungen erfolgen müssen. Abgeschlossen wird diese Studie mit einer Zusammenfassung, einer Conclusio und einem Ausblick auf weitere noch zu betrachtende Aspekte (Kapitel 8).

4 Derzeitige Klimabewertung von Produkten auf unterschiedlichen Ebenen

4.1 Nationale Ebene

4.1.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen

Im Rahmen der UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) muss laut PAZDERNIK et al. (2013) eine Berichterstattung von Treibhausgasemissionen durchgeführt werden. Die UNFCCC ist eine Konvention, die von Staaten der ganzen Welt im Jahr 1992 gegründet wurde, um mögliche dramatische Auswirkungen, verursacht durch den Klimawandel, zu vermeiden. Österreich hat sich ebenfalls bereit erklärt, eine derartige Initiative gegen den Klimawandel zu unterstützen, um in weiterer Folge mögliche dramatische Auswirkungen bestmöglich vermeiden zu können. Bestandteil der Mitgliedschaft an der UNFCCC ist die Berichterstattung von klimarelevanten Treibhausgasemissionen anhand von nationalen Treibhausgas-Inventuren, die von allen Mitgliedsländern jährlich erstellt werden müssen. Dadurch soll die Einhaltung des Klimaziels des Landes (meist eine Reduktion der Emissionen) nachgewiesen werden. Verbindliche Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und Klimaschutzmaßnahmen wurden allerdings erst 1997 mit der Einführung des Kyoto Protokolls beschlossen. Dabei handelt es sich um ein Instrument, welches verpflichtende Reduktionen der Treibhausgasemissionen in einem Ausmaß von 5 % (im Vergleich zu 1990) für die Periode 2008-2012 vorsieht. Die Europäische Union entschied sich als Mitglied dieses Protokolls für strengere Zielvorgaben und setzte sich ein Reduktionsziel von 8 % (gegenüber dem Vergleichsniveau von 1990). Für Österreich hat sich durch die EU-interne Lastenaufteilung eine Pflicht zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 13 % ergeben. Im Rahmen der nationalen Treibhausgas-Inventur (für UNFCCC) muss Österreich zusätzliche Informationen für die Einhaltung des Kyoto Protokolls bereitstellen. Wesentliche Bestandteile sind dabei beispielsweise die Berichterstattung von Artikel 3.3 und 3.4 Aktivitäten, auf die in Kapitel 4.1.2 detailliert eingegangen wird (PAZDERNIK et al. 2013 und JENNINGS et al. 2013).

Nach PAZDERNIK et al. (2014) stellt dieser jährliche Inventurbericht die aktuelle Situation der in einem Land erzeugten Treibhausgasemissionen dar, die nach den Sektoren „Energie“, „industrielle Prozesse“, „Lösemittel und andere Produktanwendungen“, „Landwirtschaft“, „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (= LULUCF = Land use, land use change and forestry)“ und „Abfall“ gegliedert dargestellt werden (PAZDERNIK et al. (2013).

Nachfolgend wird auf die Erhebung und Bewertung der klimarelevanten Emissionen, getrennt nach biogener und mineralischer Herkunft, näher eingegangen.

4.1.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs

Die Bilanzierung von Emissionen biogener Herkunft wird im Rahmen der nationalen Inventur speziell in dem Sektor „LULUCF“ ausgewiesen und wird laut ExpertInnen folgendermaßen gehandhabt. Eine Verbrennung von Biomasse wird im Sektor „Energie“ als CO₂-neutral bewertet, vorausgesetzt die Rohstoffe stammen aus einem nachhaltig bewirtschafteten Forst. Daraus folgende Veränderungen an gebundenem Kohlenstoff im Forst werden

hingegen im Sektor „LULUCF“ berücksichtigt. Dabei erfolgt die Bewertung auf Grundlage einer Betrachtung von Zuwächsen minus der Einschlüsse aus dem Wald, woraus schließlich eine Quelle, Senke oder Neutralität für Kohlendioxid resultiert. Konkret wird zum Zeitpunkt des Holzeinschlags eine Emissionsfreisetzung bzw. Bestandsverringerung im Wald (Baum wird sozusagen als „verbrannt“ bewertet) verbucht. Anfallende Holzreststoffe gehen in den Kohlenstoffpool „Boden“ über, indem sie über die Zeit veratmet und damit zeitlich verzögert freigesetzt werden (entsprechend den Abbauraten im Boden). Im Falle einer stofflichen Nutzung in Form von Holzprodukten (HWP – Harvested Wood Products), wird der in Biomasse gebundene Kohlenstoff als Zufluss in einen HWP-Pool bewertet. In diesem Pool wird dabei eine Bilanzierung des Zuflusses weniger dem Abgang an gebundenem Kohlenstoff in Holzprodukten aus diesem HWP-Pool durchgeführt. Eine Kohlenstoffsenke ergibt sich durch eine Vergrößerung des Kohlenstoffpools, eine Quelle bei einer Verringerung. Eine genaue Beschreibung der Bewertung der HWP erfolgt in Kapitel 4.1.2.2.

Bezüglich der Systemgrenze betrachtet die nationale Treibhausgas-Inventur nur inländische Waldflächen und schließt Holzimporte von der Bilanzierung des HWP-Pools somit aus. Exportiertes Holz wird analog dem Exporteur und nicht den jeweiligen Importländern zugewiesen. Dies führt allerdings zu dem Dilemma, dass Waldbestände aus Staaten, die nicht nach UNFCCC bzw. Kyoto Protokoll berichten müssen und keine nachhaltig bewirtschafteten Wälder besitzen, nicht in der Berichterstattung aufscheinen, falls UNFCCC- oder Kyoto-Staaten Holz aus derartigen Ländern importieren.

Bei Betrachtung des Umfangs für die Berichterstattung muss im Rahmen der nationalen Inventur zwischen der UNFCCC und dem Kyoto Protokoll unterschieden werden. Es handelt sich nämlich um Systeme mit unterschiedlichen Hintergründen und Vorgehensweisen. Beispielsweise besitzt die UNFCCC ein sehr breites Betrachtungsfeld, das die gesamte in einem Land bewirtschaftete Fläche berücksichtigt, wobei das Kyoto Protokoll sich vermehrt auf den Einfluss des Menschen durch die Bewirtschaftung von Flächen beschäftigt und zusätzlich mit dem Jahr 1990 ein Bezugsjahr festlegt. Nachfolgend werden diese beiden Systeme genauer analysiert.

4.1.2.1 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)

Im Rahmen der UNFCCC wird für Österreich nach PAZDERNIK et al. (2014) im Bereich des Sektors „LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry)“ die Emissionserhebung getrennt nach folgenden Kategorien durchgeführt:

- „Wald (Forest land)“
- „Ackerland (Crop land)“
- „Grasland (Grass land)“
- „Feuchtgebiete (Wet lands)“
- „Besiedeltes Land (Settlements)“
- „Sonstiges Land (Other land)“

Der Sektor „LULUCF“ ist in Österreich seit 1990 bis auf das Jahr 2008 durchgehend von einer Netto-Senke für Kohlendioxid geprägt. Den größten Beitrag unter den genannten Kategorien leistet dabei der Sektor „Wald“, der als einziger Bereich eine Kohlenstoffsenke darstellt und dadurch dessen Klimarelevanz verdeutlicht. Alle restlichen Kategorien sind Quellen für

Kohlendioxid, die allerdings in dieser Arbeit aufgrund der geringeren Bedeutung für die Klimabewertung von Holzbiomasse nicht weiter untersucht werden. Hingegen wird die Kategorie „Wald“ in weitere zwei Unterkategorien unterteilt: „Wald bleibt Wald (forest land remaining forest land)“ und „Nutzungsänderung zu Wald (land use change to forest land)“. Den größten Beitrag zur Kohlenstoffsенke leistet die Kategorie „Wald bleibt Wald“. Umwandlungen in der Bewirtschaftungsform von Waldflächen zu anderen Nutzungsformen werden nicht in der Kategorie „Wald“, sondern in der jeweilig entstehenden Landnutzung (z.B. „Ackerland“ oder „Grasland“) eingerechnet (PAZDERNIK et al. 2014).

Österreich berichtet laut PAZDERNIK et al. (2014) Landnutzungsänderungen für eine Periode von 20 Jahren mit einer rückwirkenden Betrachtung bis ins Jahr 1970. Die notwendigen Daten werden dabei von der nationalen Waldinventur übernommen, die in Österreich zum letzten Mal für die Periode 2007-2009 durchgeführt wurde.

4.1.2.2 *Kyoto Protokoll*

Die Teilnahme am Kyoto Protokoll verpflichtet Österreich laut PAZDERNIK et al. (2013) zur Bereitstellung von Zusatzinformationen im Rahmen der nationalen Treibhausgas-Inventur, um die Einhaltung des Kyoto Protokolls bestätigen zu können. Die CO₂-Bilanzierung von Holzbiomasse erfolgt dabei im Sektor „LULUCF“ anhand der Artikel 3.3 und 3.4 Aktivitäten, die nachfolgend näher erläutert werden.

- Artikel 3.3 Aktivitäten

Diese beinhalten laut PAZDERNIK et al. (2014) anthropogen verursachte Emissionen oder auch Entnahmen von Kohlendioxid aus der Atmosphäre, die in Zusammenhang mit Aufforstung, Entwaldung oder Wiederbewaldung stehen und nach dem Jahr 1990 umgesetzt wurden. Derartige Landnutzungsänderungen im Bereich des Waldes basieren auf der gleichen Datenbasis und Methode wie die Kategorie „Nutzungsänderung zu Wald“ für die Berichterstattung unter UNFCCC. Artikel 3.3 Aktivitäten werden für die erste Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 als Veränderungen der Kohlenstoffvorräte bilanziert, indem jene Flächen, die seit 1990 eine Aufforstung, Wieder- oder Entwaldung erfahren haben, in die Berechnung aufgenommen werden.

- Artikel 3.4 Aktivitäten

Artikel 3.4 Aktivitäten sind ebenfalls vom Menschen gesetzte Maßnahmen, die Wald-, Ackerland- und Graslandbewirtschaftung sowie Rekultivierungsmaßnahmen umfassen. Österreich ist für die erste Kyoto-Verpflichtungsperiode jedoch nur zur Berichterstattung von Maßnahmen nach Artikel 3.3 verpflichtet und kann 3.4 Aktivitäten freiwillig anrechnen lassen, wobei sich Österreich dagegen entschied (PAZDERNIK et al. 2013).

Grund für die Nichtaufnahme von Artikel 3.4 Aktivitäten in die Berichterstattung könnten laut JENNINGS et al. (2013) mehrere Aspekte gewesen sein:

- 1.) Schäden oder Verluste von Waldflächen durch Extremereignisse müssten eingerechnet werden
- 2.) Einrichtung eines Monitoring-Systems, welches mit finanziellem Aufwand verbunden wäre

- 3.) Folge wäre Motivation zur reduzierten Holznutzung, um zusätzliche Bestandsverringerung im Wald und damit eine Quelle für Kohlendioxid zu vermeiden

Ein weiteres nicht zu vernachlässigendes Argument könnte sein, dass Österreich im Jahr 2008 im Bereich der Artikel 3.4 Aktivitäten eine CO₂-Quelle verbuchen hätte müssen, wodurch eine weitere Erschwernis für die Erreichung des Kyoto-Ziels hinzugekommen wäre.

Für eine Fortsetzung der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode wurde nach BRAUN (2012) und SCHIMA und BRAUN (2012) auf der UN-Klimakonferenz in Durban 2011 neben einem umfassenden und rechtlich verbindlichen Rechtsinstrument, das 2015 beschlossen und ab 2020 umgesetzt werden soll, über eine zweite Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto Protokoll verhandelt, die am Ende der Konferenz für den Zeitraum 2013 bis 2020 beschlossen werden konnte. Diese Periode umfasst die Erweiterung des Instruments durch die Aufnahme weiterer Treibhausgase und die Erstellung von Regeln für die Landnutzung. Somit muss jedes Land, das sich für eine Teilnahme an der zweiten Kyoto-Verpflichtungsperiode entscheidet, den Bereich der Landnutzung in die nationalen Verpflichtungen integrieren. Die Artikel 3.3 Aktivitäten und die Artikel 3.4 Aktivitäten für landwirtschaftliche Flächen bleiben für diese zweite Periode unverändert. Veränderungen gibt es laut ExpertInnen allerdings bei den Maßnahmen nach Artikel 3.4 für die Waldbewirtschaftung. Derartige Aktivitäten und Maßnahmen müssen ab 2013 verpflichtend nach einem so genannten Referenzwertansatz miteinbezogen werden. Dabei wird für den gesamten Bereich der Waldbewirtschaftung ein Referenzwert für die erwartete Kohlenstoffspeicherung bis 2020 aus einer prognostizierten Waldbewirtschaftung ermittelt. Dieser wird am Ende der Periode mit der tatsächlichen Kohlenstoffspeicherung verglichen und je nach Über- oder Unterschreiten des Referenzwertes eine Quelle oder Senke für Kohlendioxid im Bereich des Sektors 3.4 ausgewiesen. HWPs (= gebundener Kohlenstoff in Holzprodukten) werden für diese zweite Verpflichtungsperiode innerhalb des Bereichs der Waldbewirtschaftung ebenfalls in die Berichterstattung aufgenommen. Somit bilanziert Österreich ab 2013 sämtliche CO₂-Emissionen des Waldes unter dem Sektor „LULUCF“.

Der bereits genannte Referenzwertansatz für die Einbeziehung der Waldbewirtschaftung wurde in Österreich laut ExpertInnen mit einer Kohlenstoffspeicherung von insgesamt 6,5 Millionen Tonnen an CO₂ festgelegt, wobei 4,4 Millionen Tonnen aus der Speicherung in Holzprodukten (HWP) und 2,1 Millionen Tonnen aus der Fixierung von CO₂ im Bestandswald stammen.

Der Referenzwertansatz wird in Abbildung 11 für die Einbeziehung des Waldbestands dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass im Vergleich zu den letzten Jahren bis 2020 mit einer deutlichen Reduktion des im Wald gebundenen Kohlenstoffs (C-Speicherung in Millionen Tonnen an CO₂-Äquivalent) gerechnet wird. Dadurch ergibt sich auch ein Referenzwert von 2,12 Millionen Tonnen an CO₂ (rote Linie = Prognose). Dieser Wert wird schlussendlich mit dem tatsächlichen Waldbestand und darin enthaltenem Kohlenstoff verglichen, wobei für die Jahre ab ungefähr 2016 mit einem Überschreiten dieses Referenzwertes gerechnet wird (= offizielle Prognose), wodurch eine Quelle für Kohlendioxid auszuweisen wäre (= Anrechnung, siehe Abbildung 11).

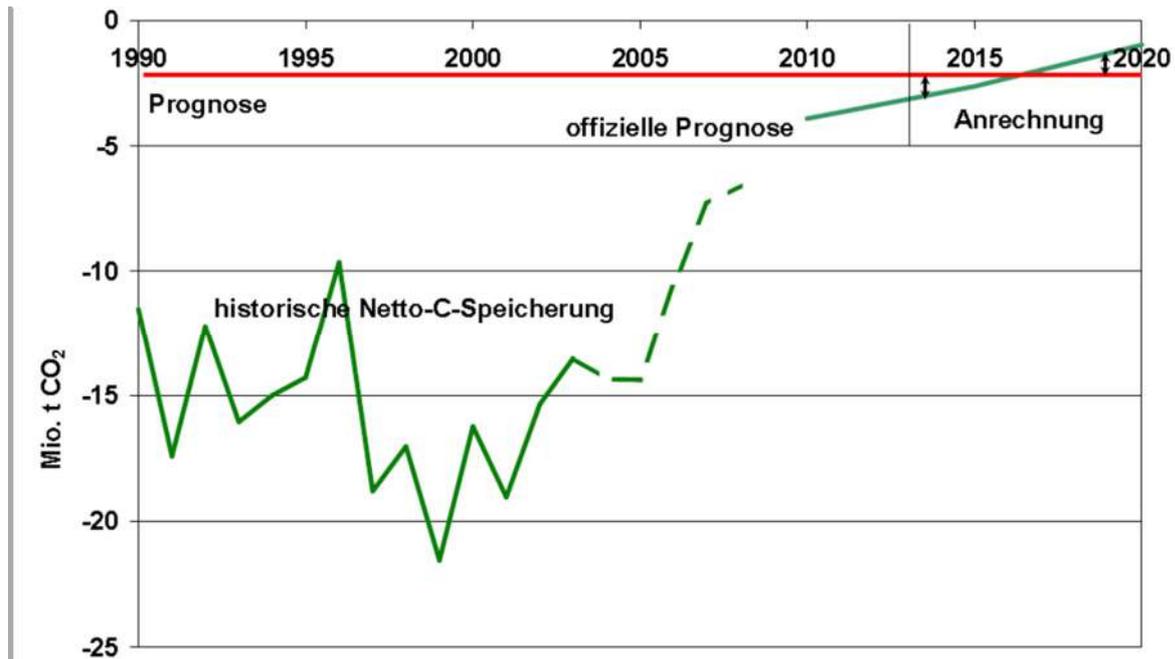


Abbildung 11: Referenzwertansatz für die Einbeziehung der Waldbewirtschaftung (Artikel 3.4 Aktivitäten) (BRAUN 2010)

ExpertInnen berichten, dass dieser Referenzwert von 6,5 Millionen Tonnen CO₂ für Österreich bereits einmal geändert wurde, indem der neue Referenzwert für den Bestandswald keine weitere Senke, sondern eine Quelle im Ausmaß von 4,6 Millionen Tonnen Kohlendioxid aufweist. Die Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten hat hingegen keine Veränderung erfahren. Somit ergibt sich durch diese Anpassung des Referenzwertes insgesamt eine leichte Quelle für CO₂, die am Ende der Verpflichtungsperiode den tatsächlichen Bestandsveränderungen inklusive dem Saldo aus dem HWP-Pool gegenübergestellt wird.

Anpassungen des Referenzwerts können jedoch nur bei technischen Veränderungen in der verwendeten Berechnungsmethodik durchgeführt werden, falls Abweichungen zwischen der Methodik für die Einbeziehung der Artikel 3.4 Aktivitäten und der grundsätzlichen Bilanzierungsmethodik der Inventur aufgetreten sind.

Verantwortlich für diese Änderung des Referenzwerts waren laut PAZDERNIK et al. (2014) verschiedene Anpassungen, die nachfolgend erläutert werden:

- Aufnahme des Boden- und Streu-Pools in die Berichterstattung → Emission: 2,6 Millionen Tonnen an CO₂ pro Jahr
- Aufnahme von Emissionen der Mortalität in die Berichterstattung → Emission: 2,2 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr
- Aktualisierung der Biomasseexpansionsfaktoren → Emission: 2,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr
- Aktualisierung des Totholz-Pools → Kohlenstoffspeicherung: 0,2 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr
- Korrektur der Zuwachsberechnung → Kohlenstoffspeicherung: 0,2 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr

Diese Korrekturen bzw. Erweiterungen ergeben in Summe eine Emission in der Höhe von 6,76 Millionen Tonnen an CO₂ pro Jahr, wodurch eine Anpassung des Referenzwerts um diese Menge an Kohlendioxid erfolgen muss. Durch die Einbeziehung der ausgewiesenen Speicherung von 2,1 Millionen Tonnen an CO₂ pro Jahr in der bisherigen Projektion, ergibt sich für den neuen Referenzwert eine Quelle für Treibhausgasemissionen in der Höhe von 4,64 Millionen Tonnen an CO₂ pro Jahr (PAZDERNIK et al. 2014).

Für die tatsächliche Berichterstattung werden die tatsächlichen Bestandsveränderungen mit dem auf nationaler Ebene beschlossenen Referenzwert verglichen. Abbildung 12 stellt dabei die x-Achse als zeitlichen Verlauf (= time, historic data = historische Daten) inklusive Prognose bis 2020 (= forecast) dar, die y-Achse beschreibt die Größe des Kohlenstoffvorrats (= carbon stock) (FRIEDEN et al. 2012).

Ist der Kohlenstoffbestand durch die Bestandsveränderungen (Zuwachs weniger Nutzung) größer als der in Abbildung 12 dargestellte Referenzwert (= reference level) (= Case A - größerer Zuwachs als erwartet), so resultiert daraus eine Netto-Speicherung von CO₂, die einem positiven Beitrag für die Erreichung des nationalen Klimaziels gleichzusetzen ist. Liegen die tatsächlichen Kohlenstoffvorräte allerdings unter der erwarteten Projektion, so muss eine positive Emission (= Case B - negative Auswirkung auf nationales Klimaziel) berichtet werden.

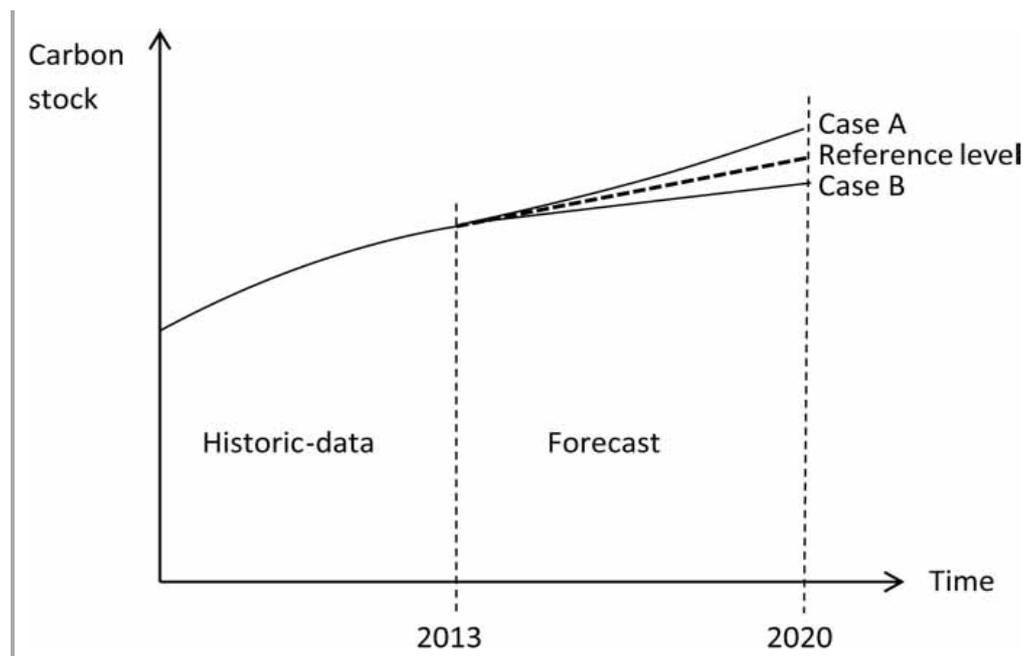


Abbildung 12: Vergleich zwischen Referenzwert und tatsächlichem Waldbestand (FRIEDEN et al. 2012)

- HWP-Pool (Harvested Wood Products)

Zusätzlich zu der Erweiterung um die Artikel 3.4 Aktivitäten (Waldbewirtschaftung) wurde auf der Klimakonferenz in Durban 2011 auch noch die Aufnahme von Holzprodukten (HWP) in die Berichterstattung der Inventur beschlossen, wie ExpertInnen berichten. Dieser Bereich beschreibt die Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten und wird in Form einer Erweiterung des Sektors Waldbewirtschaftung (Artikel 3.4) mit einbezogen. Bisher setzte

sich der Wald aus fünf Kohlenstoffpools (ober- und unterirdische Biomasse, Streu, Totholz und Boden) zusammen, die jeweils für eine Aufnahme bzw. Freisetzung von Emissionen verantwortlich sein können. Ab dem Jahr 2013 werden die Holzprodukte (HWP) als sechster waldferner Kohlenstoffpool aufgenommen.

Innerhalb dieser Kategorie der HWP gibt es eine weitere Differenzierung, wobei nach drei Arten von Produkten unterschieden wird. Es handelt sich dabei um Schnittholz, Papier und Holzwerkstoffe. Die Bilanzierung erfolgt dabei nach dem so genannten „production approach“. Dabei werden sämtliche im Inland hergestellten Produkte aus im Inland eingeschlagenem Holz betrachtet, unbeachtet ob eine Nutzung im In- oder Ausland stattfindet. Nach STERN et al. (2009) liefert dieser Ansatz die höchsten Werte, da die Herstellung von Produkten aus im Inland geerntetem Holz mehr Produkte liefert, als im Inland verbraucht werden können, während andere Ansätze durch den inländischen Konsum eingeschränkt sind.

Beim „production approach“ handelt es sich um ein nationales (= national boundary) System mit einer festgesetzten Systemgrenze (= system boundary). CO₂-Entnahmen durch Waldwachstum (= forest growth) und Emissionsfreisetzungen durch Schlagabraum (= slash) sowie Zersetzung des Holzes (= decomposition) werden dabei mit berücksichtigt. Importe (Import) werden hingegen nicht eingerechnet. Somit kann das gesamte im Inland eingeschlagene Holz (= wood), das in weiterer Form im Inland zu einem der drei erwähnten Produkte verarbeitet wird (= production), für die Bilanzierung der HWP von Relevanz sein. Dabei werden auch Exporte (= Export) von fertigen Produkten mitgerechnet (siehe Abbildung 13). Es werden jedoch laut FRIEDEN et al. (2012) nur Produkte, die aktuell in Verwendung sind, für die Bestimmung des HWP-Pools berücksichtigt.

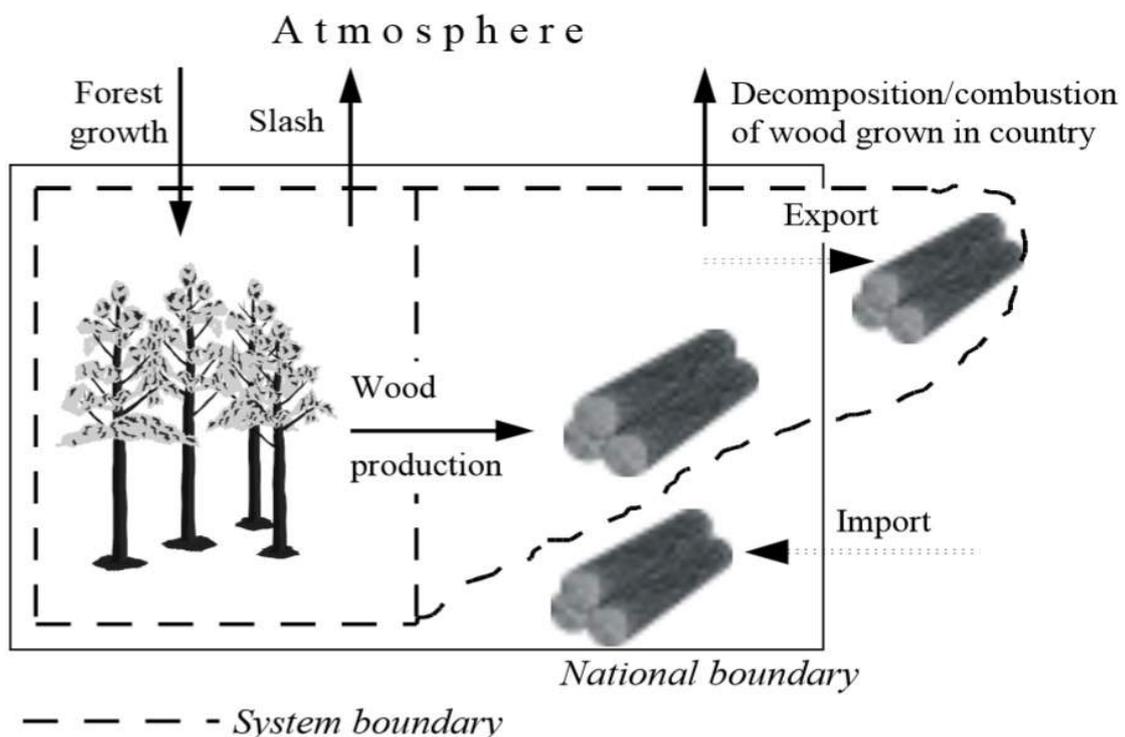


Abbildung 13: Grafische Darstellung des Production Approach (BROWN et al. 1998)

Der in HWP's gebundene Kohlenstoff wird laut FRIEDEN et al. (2012) erst am Ende der Produktlebensdauer in die Atmosphäre abgegeben, wodurch eine verzögerte Emissionsfreisetzung stattfindet. Gerade dieser Aspekt unterscheidet die zweite von der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode, indem bisher eine sofortige Freisetzung des im Holz fixierten Kohlenstoffs bei der Ernte gerechnet wurde. Wie lang jedoch der Kohlenstoff in den HWP's gespeichert bleibt, ist von der Art der Produkte abhängig.

Dabei wird für jede der drei Produktkategorien (Schnittholz, Papier und Holzwerkstoffe) die Höhe des Pools über die Saldierung der eintretenden und der austretenden Ströme ermittelt. Der Austritt an Kohlenstoff wird für jede Produktkategorie mit einem exponentiellen Mobilisierungsmodell ermittelt, bei dem der austretende Strom proportional der Höhe des Pools ist und die Lebensdauer in Form von Halbwertszeiten für die jeweilige Produktkategorie eingeht (siehe Abbildung 14). Die Halbwertszeit ist dabei jene Zeit in Jahren, nach welcher der Bestand auf die Hälfte des Ausgangswerts gesunken ist (FRIEDEN et al. 2012).

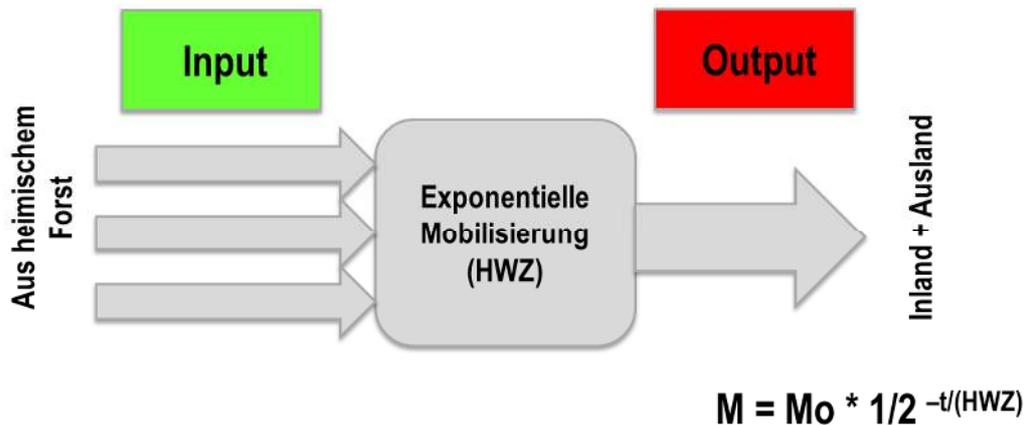


Abbildung 14: Bewertungsmodell für Harvested Wood Products (HWP) (Eigene Darstellung, nach IPCC 2006)

Die Halbwertszeiten für die drei Produktkategorien sind in nachfolgender Abbildung 15 dargestellt. Aus dieser Grafik ist zu erkennen, dass Papier mit nur zwei Jahren die mit Abstand schnellste Abbaurrate besitzt und somit nach dieser Zeit bereits die Hälfte des Ausgangswerts abgebaut wurde. Für die Holzprodukte Bauholz und Platte ist die Abbaurrate deutlich flacher. Dies bedeutet, dass deren Mobilisierung aus dem HWP-Pool erst nach 35 bzw. 25 Jahren zur Hälfte erfolgt.

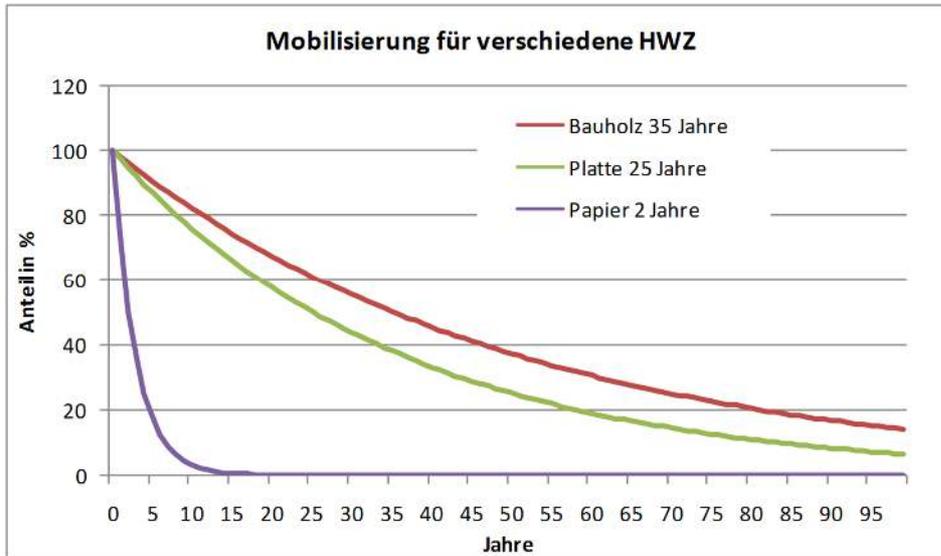


Abbildung 15: Abbauraten für die drei HWP-Produktkategorien (Eigene Darstellung, nach IPCC 2006 und FRIEDEN et al. 2012)

Anhand Abbildung 16 soll schließlich noch die Zusammensetzung des Referenzwertes für die HWP erläutert werden. Dabei handelt es sich um eine Projektion für die Menge an gespeichertem Kohlenstoff (x-Achse) in Holzprodukten (HWP). Es ist eine sehr schwankende Entwicklung der Produktionsmengen und dadurch auch der in den Produkten gebundenen Kohlenstoffmenge zu erkennen. Bis 2006 konnte ein kontinuierlicher Anstieg der Kohlenstoffspeicherung verzeichnet werden, der allerdings vor allem im Jahr 2009 von einem sehr starken Rückgang geprägt war. Ab dem Jahr darauf (2010) wird bis 2020 mit einer relativ konstanten, leicht abnehmenden Menge an gebundenem Kohlenstoff in Holzprodukten (HWP) gerechnet. Das Mittel aus 2013 bis 2020 führt zum derzeitigen Referenzwert für HWP (= 4,4 Millionen Tonnen CO₂).

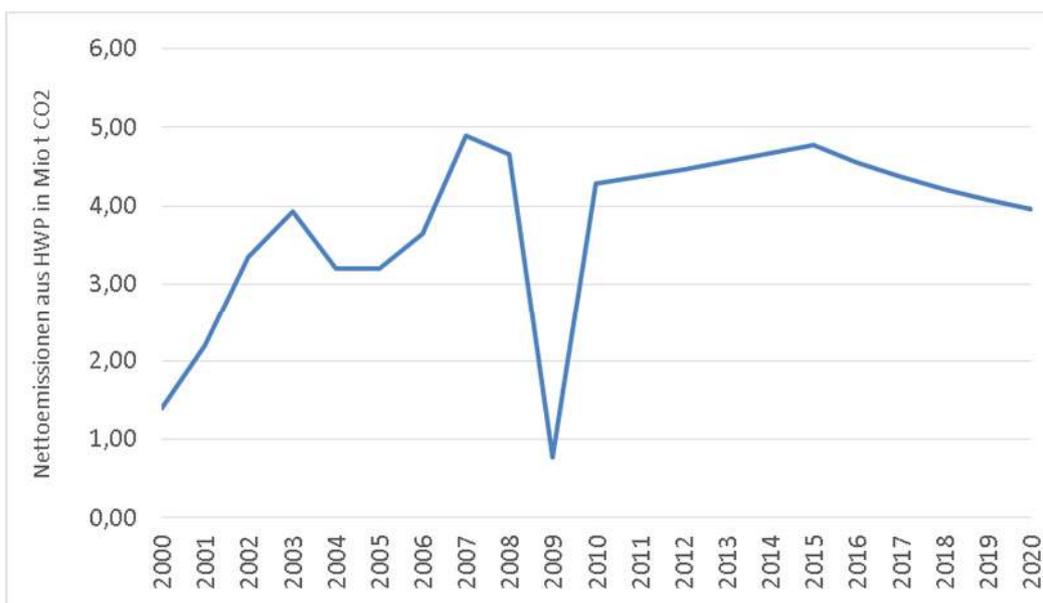


Abbildung 16: Prognose für die Entwicklung von HWP und die darin gebundene Menge an CO₂ (Eigene Darstellung, nach N.N. s.a.)

4.1.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs

Die österreichische Treibhausgas-Inventur betrachtet, wie bereits erläutert, neben biogenen auch Emissionen mineralischer Herkunft. Letztere werden in dem Sektor „Industrie“ als mineralische Produkte behandelt. Dabei wird in unterschiedliche Produktgruppen differenziert (PAZDERNIK et al. 2014):

- Zementproduktion
- Kalkproduktion
- Nutzung von Kalkstein und Dolomiten
- Herstellung und Nutzung von Natriumcarbonat
- Asphaltbearbeitung
- Weitere mineralische Produkte

Dabei sind laut PAZDERNIK et al. (2014) vorwiegend die Herstellung von Zement, Kalk sowie Kalkstein und Dolomit hinsichtlich erzeugter CO₂-Emissionen von größter Relevanz und werden in der Berichterstattung als Schlüsselkategorie angeführt. Die Zementproduktion war beispielsweise im Jahr 2012 alleine für 2,1 % der gesamten (ohne LULUCF) Treibhausgasemissionen von Österreich verantwortlich.

Die Bilanzierung von CO₂-Emissionen mineralischer Produkte erfolgt laut PAZDERNIK et al. (2014) in zwei getrennten Kategorien. Der Sektor „Industrie“ betrachtet ausschließlich prozessbedingte Emissionen (CO₂), verbrennungsbedingtes Kohlendioxid wird dem Sektor „Energie“ zugerechnet.

4.1.3.1 Prozessbedingte CO₂-Emissionen

Diese umfassen für mineralische Produkte eine Vielzahl von Produktionsprozessen, die allesamt Kohlendioxid erzeugen und in die Berichterstattung aufgenommen werden müssen. Nachfolgend werden einige wesentliche Produktionsverfahren näher beschrieben.

Die Zementherstellung emittiert CO₂ laut PAZDERNIK et al. (2014) bei der Klinkerproduktion durch das Erhitzen von Kalziumcarbonat (CaCO₃) auf über 1300°C, wodurch dieses in Kalk (CaO) und CO₂ gespalten wird. Berechnet werden die CO₂-Emissionen anhand der Zusammensetzung der Ausgangsstoffe (z.B. Rohmehl) und über Daten der Produktionsanlage. Diese Emissionen werden als vollständige Emissionsfreisetzung bilanziert. Die Entwicklung der letzten Jahre hat gezeigt, dass vor allem seit 2008 die freigesetzten Emissionen deutlich reduziert werden konnten. Mitverantwortlich für diesen Rückgang ist voraussichtlich auch die Wirtschaftskrise, die 2008 eingesetzt hat.

Das Brennen von Kalk wird ebenfalls durch die Dekarbonatisierung geprägt. Der dabei gebildet Branntkalk kann in verschiedener Form für Neutralisationen, in der Abwasserreinigung sowie in der Saftreinigung bei der Zuckerherstellung eingesetzt werden, wobei wiederum Kalziumcarbonat entsteht. Für das Brennen wird energiebedingtes CO₂ freigesetzt, das allerdings im Sektor „Energie“ bilanziert wird. Die gesamten Emissionsdaten werden dabei von den gemeldeten Daten für den Emissionshandel übernommen (seit 2005). Die Emissionen der Kalkherstellung sind dabei im Vergleich zur Zementproduktion leicht angestiegen, liegen von den Absolutwerten aber insgesamt doch deutlich darunter (0,7 % der gesamten Treibhausgasemissionen Österreichs).

Bei der Herstellung von Ziegeln wird ebenfalls im Zuge des Brennprozesses durch die Zersetzung von karbonathaltigen Anteilen im Rohstoff Kohlendioxid freigesetzt. Diese Kategorien werden allerdings im nationalen Inventurbericht als nicht wesentlich bewertet.

Auch die Ausbringung von Kalk auf landwirtschaftlichen Flächen wird als CO₂-Quelle bilanziert. Da keine detaillierten Daten über die ausgebrachten Mengen in Österreich vorliegen, werden Expertenabschätzungen herangezogen. Dabei wird nicht zwischen Acker- und Grasland unterschieden (PAZDERNIK et al. 2014).

4.1.3.2 *Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen*

Sämtliche CO₂-Emissionen, die durch Verbrennung entstehen, werden nach PAZDERNIK et al. (2014) dem Sektor „Energie“ zugerechnet. Dabei handelt es sich vorwiegend um den Kraftstoffverbrauch in Brennöfen, wie beispielsweise für die Herstellung von Zementklinker. Die Emissionen sind somit vorwiegend von der Wahl des Brennstoffs abhängig und könnten durch eine geeignete Rohstoffwahl gesenkt werden.

Bei Verwendung von biogenen Ersatzbrennstoffen (z.B. Sägespäne) werden diese im Sektor „Energie“ nicht als weitere Emissionsfreisetzung bilanziert, da die Biomassenutzung laut ExpertInnen bereits am Waldstandort als vollständige Emission verbucht wird. Sonst würde es zu einer Doppelzählung kommen. Dies ist aber nicht gleichbedeutend mit einer CO₂-Neutralität für biogene Ersatzbrennstoffe, sondern hängt von der Nutzung des Waldes ab. Handelt es sich beispielsweise um eine Übernutzung (Nutzung größer als Zuwachs – Verringerung des Bestands), dann wäre die Gesamtbilanz für die Sägespäne-Verbrennung nicht CO₂-neutral.

4.2 Betriebsebene

4.2.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen

Der Industriesektor mit dem gesamten produzierenden Bereich sollte als wesentlicher Verursacher von Emissionen (siehe Abbildung 3) bei der Emissionserfassung auf jeden Fall mitberücksichtigt werden. In diesem Kapitel soll die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen (speziell CO₂) auf Ebene der Unternehmen genauer betrachtet werden.

Der Großteil der Industrieemissionen (76,1 %) wird durch Emissionshandelsbetriebe verursacht. Diese sind durch die Zuteilung einer begrenzten Menge an Emissionszertifikaten bereits mit einem Ziel für die Reduktion von Treibhausgasen ausgestattet (21 % bis 2020 im Vergleich zu 2005). Seit 2013 wird der Emissionshandel auf zusätzliche Bereiche ausgeweitet und dadurch noch mehr Betriebe umfassen (JENNINGS et al. 2013). Die verbleibenden nicht vom Emissionshandel erfassten Bereiche sind für die Erreichung des Kyoto-Ziels ebenfalls von besonderer Relevanz. Diese Bereiche sind keinem Instrument wie dem Emissionshandel unterzogen, verfügen aber trotzdem über ein verpflichtend einzuhaltendes Reduktionsziel. Die EU hat dieses Ziel für den non-ETS Bereich mit einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 10 % (im Vergleich zu 2005) bis 2020 festgelegt. Österreich hat entsprechend dem Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt ein Reduktionsziel im Ausmaß von 16 %. Dies umfasst zum Beispiel sämtliche Emissionen des Verkehrs, der Raumwärme und der Landwirtschaft. Für die Erreichung dieses Ziels werden Maßnahmen wie Gebäudedämmung, Steigerung der Effizienz für Heizsysteme, die Verringerung der gefahrenen Strecken oder Effizienzsteigerungen durch die Senkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs angedacht (JENNINGS et al. 2013).

Durch die weltweite Aktualität des Klimawandels sind sämtliche Bereiche wie auch die Industrie gezwungen, Handlungen zu setzen, um das Ausmaß der Risiken in den Griff zu bekommen. Unternehmen müssen sich demnach ebenfalls immer mehr mit derartigen klimarelevanten Themen beschäftigen. Dabei geht es laut RANGANATHAN et al. (2004) vor allem um die Kenntnis und Regelung der betriebsbezogenen Emissionen. Für eine langfristig erfolgreiche Wettbewerbsfähigkeit und eine bestmögliche Vorbereitung auf mögliche nationale oder regionale Gesetze ist ein klimabezogenes Verständnis der Produktionstätigkeit für Unternehmen von besonderer Wichtigkeit.

Ob und in welchem Ausmaß Unternehmen eine Bewertung der eigenen Klimarelevanz anhand einer CO₂-Bilanzierung durchführen können, wird nachfolgend sowohl für biogene als auch Produkte mineralischer Herkunft dargestellt. Dabei wurden für die Betrachtung von betrieblichen Emissionen, sowohl biogener als auch mineralischer Herkunft, unterschiedlichste Normen und Dokumente untersucht, die allesamt das Ziel einer Homogenisierung der Bilanzierung von betrieblichen Treibhausgasemissionen verfolgen. Bei den behandelten Ansätzen handelt es sich um Umweltmanagementsysteme (ISO 14001 und EMAS), die Nachhaltigkeitsberichterstattung nach GRI (Global Reporting Initiative), das Emissionszertifikatgesetz (EZG) und das Treibhausgas-Protokoll (Greenhouse Gas Protocol - GHG), das sich in einem Dokument speziell mit der betrieblichen Ebene beschäftigt.

Nachfolgend werden diese Systeme hinsichtlich ihres Hintergrunds und Zielsetzung kurz vorgestellt:

Umweltmanagementsysteme wie ISO 14001 oder EMAS haben eine stetige Verbesserung der betrieblichen Umwelleistung als Zielvorgabe. Im Zuge eines derartigen Umweltmanagementsystems sollen etwaige Schwachstellen identifiziert und mögliche Optimierungsmaßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden. Unternehmen sollen dabei für umweltrelevante Themen sensibilisiert werden, um auch auf mögliche Verpflichtungen besser vorbereitet zu sein. Der betrachtete Rahmen kann dabei von den Betrieben selbst gewählt werden. Dabei wird festgelegt, ob das gesamte Unternehmen oder nur einzelne Betriebseinheiten untersucht werden sollen (TÜV RHEINLAND GROUP 2008 und ISO/TC 207/SC 1 2005). Innerhalb von Umweltmanagementsystemen sind ebenfalls Unterschiede vorhanden, da beispielsweise ISO 14001 eine internationale Norm ist, EMAS hingegen eine europäische Verordnung, die zusätzlich zu ISO 14001 das Erstellen und Veröffentlichen einer Umwelterklärung mit den betrieblichen Umweltauswirkungen vorsieht.

Das Treibhausgas-Protokoll, welches vom World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) und dem World Resources Institute (WRI) erstellt wurde, hat laut RANGANATHAN et al. (2004) international homogenisierte Standards für die Berichterstattung von betrieblichen Treibhausgasemissionen zum Ziel. Neben der betrieblichen Ebene sind diese Standards ebenfalls für die Produkt- und Prozessebene vorhanden. Dieses Protokoll soll sämtliche Unternehmen bei der Quantifizierung und Veröffentlichung ihrer Emissionsbelastungen unterstützen. Als Systemgrenze wurden dabei so genannte Scopes definiert, die die Treibhausgasemissionen nach ihrer Entstehung differenzieren. Scope 1 bezieht sich auf alle direkten am Betriebsstandort auftretenden Emissionen, Scope 2 betrachtet alle indirekten Treibhausgasemissionen, die im Zusammenhang mit innerbetrieblich genutzter Energie stehen. Scope 3 sieht alle weiteren indirekten Emissionen vor, die als Folge von betrieblichen Aktivitäten entstehen. Letztere können freiwillig angegeben werden, Emissionen nach Scope 1 und 2 müssen hingegen verpflichtend berichtet werden (RANGANATHAN et al. 2004).

Für die Nachhaltigkeitsberichterstattung formuliert die GRI (Global Reporting Initiative) Grundprinzipien, die in weiterer Folge als eine Art Umsetzungsanleitung für die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten betrachtet und verwendet werden können. Die GRI beschäftigt sich laut ExpertInnen grundsätzlich mit der Verbreitung von Nachhaltigkeitsberichten auf betrieblicher Ebene. Für die Erstellung eines derartigen Berichts müssen sowohl allgemeine organisationsbezogene als auch nachhaltigkeitspezifische Informationen zu den drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Gesellschaft, Ökologie) angegeben werden. Die ökologische Säule umfasst dabei natürlich die Klimabelastungen eines Unternehmens, die in dieser Arbeit von besonderem Interesse sind. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Wesentlichkeitsprinzip, also sämtlichen Aspekten, die einem Unternehmen essentiell erscheinen (GLOBAL REPORTING INITIATIVE 2013). Hinsichtlich des Untersuchungsrahmens wird, wie schon beim Treibhausgas-Protokoll, die Berichterstattung von Treibhausgasemissionen in drei Scopes unterteilt, wobei wiederum nur Scope 1 und 2 verpflichtend angegeben werden müssen.

Das Emissionszertifikategesetz (EZG) ist eine nationale Rechtsnorm, die den funktionsfähigen Emissionshandel zum Ziel hat. Der Emissionshandel wurde von der europäischen Union eingeführt, um weitere Verschärfungen zur Emissionsreduktion durch ein EU-weites System unterstützen zu können. Damit wird rund die Hälfte aller Treibhausgasemissionen der EU erfasst. Das System beruht dabei auf dem Handel mit Emissionszertifikaten, der eine kosteneffiziente Reduktion von Treibhausgasemissionen bewirken soll. 2013 hat die bereits dritte Periode dieses Emissionshandelssystems begonnen, für die eine Versteigerung von Zertifikaten als Standardmethode festgelegt wurde. Eine Gratzuteilung von Emissionszertifikaten erfolgt nur mehr über ein Benchmark-System (auf Grundlage der effizientesten Anlagen). Dies unterscheidet sich grundlegend von der ersten beiden Phasen, die von einer Gratzuteilung und anschließendem Handel mit Zertifikaten geprägt waren (BMLFUW 2011a, BMLFUW 2011b und FALLMANN 2009). Der Umfang dieses Gesetzes liegt laut BMLFUW (2011a) bei allen zum Emissionshandel verpflichteten Unternehmen.

Somit handelt es sich lediglich beim EZG um ein verpflichtendes System zur Berichterstattung für Treibhausgasemissionen, alle weiteren Ansätze können vom Unternehmen freiwillig gewählt werden. Nachfolgend wird die Bilanzierungsmethodik für Emissionen aus biogenen und mineralischen Quellen näher erläutert.

4.2.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs

Auf betrieblicher Ebene erfolgt die Einbeziehung von CO₂-Emissionen aus biogenen Quellen nur bei vollständiger Betrachtung von klimarelevanten Auswirkungen. Diese werden jedoch laut ExpertInnen, BHATIA et al. (2011b) und GLOBAL REPORTING INITIATIVE (2013) nicht in die Berichterstattung der betrieblichen Emissionsbelastungen einbezogen, sondern in der Regel getrennt angeführt. Dies ist meist dann der Fall, wenn Emissionen aus biogenen Quellen von Unternehmen als wesentlich angesehen werden. Der Emissionsfaktor wird auf betrieblicher Ebene laut ExpertInnen in der Regel mit Null und somit CO₂-neutral bewertet. Eine Speicherung von Kohlendioxid bzw. Kohlenstoff in Produkten kann ebenfalls angegeben werden, allerdings wiederum nur getrennt von der eigentlichen Berichterstattung.

4.2.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs

Ein Großteil der Betriebe der Stein- und keramischen Industrie unterliegt dem Emissionshandel, wodurch Emissionen aus diesen Anlagen im Zuge des EZG jedes Jahr zu berichten und laufend zu überwachen sind. Im Falle der Einführung eines Umweltmanagementsystems oder der Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts nach GRI, müssen Emissionen nach Scope 1 und 2 verpflichtend in die Berichterstattung aufgenommen werden. Emissionen nach Scope 3 können freiwillig betrachtet und berichtet werden. Angegeben werden diese in der Regel in Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente. Durch die fehlende Berücksichtigung der Senkenwirkung der Re-Karbonatisierung von Kalk wird für Emissionen mineralischen Ursprungs eine volle Freisetzung von Treibhausgasemissionen bilanziert.

4.3 Produktebene – Lebenszyklusanalyse (LCA)

4.3.1 Allgemeine Aufgaben, Ziele, Grundlagen und Bilanzgrenzen

Neben den bisher betrachteten Ansätzen zur Klimabewertung bzw. Bilanzierung von Treibhausgasemissionen auf nationaler und betrieblicher Ebene, werden in diesem Kapitel produktbezogene Systeme für die Berichterstattung von Emissionsbelastungen betrachtet. Dabei wird der Fokus auf einzelne Produkte und deren klimarelevante Auswirkungen entlang ihres gesamten Lebenszyklus gelegt. Es handelt sich somit um eine Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanz, die laut HOTTENROTH et. al. (2013) und ISO/TC 207/SC 5 (2006b) die umfassendste Form einer Bewertung darstellt und umweltrelevante Auswirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus bewertet. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus der Produkte, von der Bereitstellung der Rohstoffe, über die Verteilung und die Nutzung bis hin zum Lebensende mit der Freisetzung von Emissionen und auch dem Verbrauch von Rohstoffen und Energie betrachtet. Für eine derartige Analyse ist somit die Kenntnis der Emissionen der hergestellten Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich (BHATIA et al. 2011a).

Bei den Bewertungen von Produkten unterscheidet man den CO₂-Fußabdruck (Carbon Footprint nach ISO/TS 14067), eine Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse eines Produkts, und Umweltproduktdeklarationen, die laut (ISO/TC 207/SC 3 2006a) die umweltrelevanten Informationen über den gesamten Lebensweg eines Produkts ausweisen. Nachfolgend wird auf die derzeit vorhandenen Bewertungsmethoden für diese beiden Ansätze näher eingegangen und sie vor allem hinsichtlich der Methodik der Klimabewertung für biogene und mineralische Emissionen untersucht. Zu erwähnen ist weiters, dass derzeit noch keine Verpflichtung zur Durchführung einer derartigen produktbezogenen Treibhausgas-Ausweisung besteht.

Für den **CO₂-Fußabdruck von Produkten** sind mittlerweile verschiedene Ansätze verfügbar, die allesamt eine Bewertung des Treibhausgaspotentials über den gesamten Produktlebenszyklus anhand einer CO₂-Bilanz darstellen. Das Treibhausgas-Protokoll des WBCSD und WRI stellt eine Anleitung für die Berichterstattung von produktbezogenen Emissionen zur Verfügung. Es soll daraus eine Art Produkt-Treibhausgas-Inventur erstellt werden, um Emissionen einzelnen Prozessen zuordnen zu können. Bei der ISO/TS 14067 handelt es sich um eine Norm mit einer Methode für die Berechnung und Kommunikation eines CO₂-Fußabdrucks für Produkte. Sie hat allerdings lediglich den Status einer technischen Spezifikation erreicht. Schwerpunkt ist dabei die Vereinheitlichung verschiedener Ansätze zur Bewertung der Klimarelevanz von Produkten. Die Systemgrenze kann dabei zwischen dem gesamten Lebenszyklus („cradle to grave“) oder auch einem reduzierteren Untersuchungsrahmens, beispielsweise von der Wiege bis zum Werkstor („cradle to gate“) gelegt werden. Einen weiteren Ansatz für die Beurteilung von lebenszyklusbasierten Emissionsbelastungen von Produkten stellt PAS 2050 dar. Hintergrund dieses Ansatzes ist ein verbessertes Verständnis über produktbezogene Klimabelastungen sowie eine verbesserte Vergleichbarkeit und Kommunikation über Ergebnisse von Produkt-CO₂-Fußabdrücken (HOTTENROTH et al. 2013, BRITISH STANDARD INSTITUTION 2008, ISO/TC 207/SC 7 2012, BHATIA et al. 2011a).

Neben dem CO₂-Fußabdruck für Produkte sind **Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration – EPD)** ebenfalls Lebenszyklusanalysen, die allerdings die gesamten Umweltauswirkungen eines Produkts betrachten und sich somit nicht alleine auf Emissionsbelastungen beschränken (ISO/TC 207/SC 3 2006a). Laut ExpertInnen sollen EPD speziell in der Bewertung von Gebäuden Anwendung finden und die unternehmensinterne Kommunikation verbessern. Die Erstellung von EPD wird durch so genannte Produktkategorieregeln (PKR) unterstützt, die für einzelne Produktkategorien konkrete methodische Regeln festlegen. Der Untersuchungsrahmen für Umweltproduktdeklarationen kann variabel gestaltet werden, indem laut RÜTER (2012) folgende Systemgrenzen festgelegt werden können:

- Wiege bis zum Werkstor:
Umweltauswirkungen von der Rohstoffbereitstellung bis zur Fertigstellung des Produkts
- Wiege bis zum Werkstor (mit Optionen):
Umweltauswirkungen von der Bereitstellung der Rohstoffe bis zum fertigen Produkt, mit der Möglichkeit weitere Lebenszyklusabschnitte zu integrieren
- Wiege bis zur Bahre: Alle Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts

Die Abgrenzungen entsprechend Wiege bis Werkstor werden häufig bei Zwischenprodukten gewählt, bei denen die Nutzungsphase weitgehend unbekannt ist. Nach den aktuellen Entwicklungen im Bereich der EPD-Gremien wird zukünftig aber die umfangreichste Betrachtung „von der Wiege bis zur Bahre“ gefordert. Abbildung 17 zeigt anschließend die Aufteilung aller möglichen Abschnitte des Produktlebenszyklus in verschiedene Module. Dabei wird insgesamt in 4 Module differenziert, die sich auf die Bereiche Produktherstellung inklusive Einbau in das Gebäude (Modul A), Nutzung des Produkts inklusive Erneuerung (Modul B), Entsorgung des Produkts am Ende des Lebenszyklus (Modul C), sowie auch Wiederverwendungs- und Recyclingpotential (Modul D) verteilen. Laut ExpertInnen wird das letztgenannte Modul D, das Gutschriften oder Lasten bilanziert, getrennt angeführt und kann nach Entscheidung des/r BilanziererIn in die Berechnung mitaufgenommen werden.

Informationen für den Lebensweg des Gebäudes											Ergänzende Informationen			
Produkt			Bau		Nutzung					Ende Lebensweg		Potentiale		
A1 - Rohstoffbereitstellung / -verarbeitung	A2 - Transport zum Hersteller	A3 - Herstellung	A4 - Transport zur Baustelle	A5 - Einbau in das Gebäude	B1 - Nutzung / Anwendung des Produkts	B2 - Instandhaltung	B3 - Reparatur	B4 - Ersatz	B5 - Umbau / Erneuerung	C1 - Rückbau / Abriss	C2 - Transport	C3 - Abfallbehandlung	C4 - Deponierung	D - Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential
					B6 - Energieeinsatz für TGA									
					B7 - Wassereinsatz für TGA									

Abbildung 17: Unterteilung des Lebenszyklus in Module (RÜTER 2012)

Nachfolgend wird die Bilanzierung von Emissionen biogenen und mineralischen Ursprungs anhand des Produkt-CO₂-Fußdrucks und Umweltproduktdeklarationen dargestellt.

4.3.2 Bilanzierung von Emissionen biogenen Ursprungs

Emissionen biogenen Ursprungs werden sowohl bei EPD als auch bei Durchführung eines Produkt-CO₂-Fußabdrucks berücksichtigt. Die Produktebene befasst sich laut GARCIA und FREIRE (2013) und HOTTENROTH et al. (2013) mit CO₂-Bilanzierungen anhand von Flussbilanzierungen entlang des Lebenszyklus eines Produkts (durch den Produkt CO₂-Fußabdruck und EPD). Dabei werden sowohl Emissionen als auch Entnahmen von Kohlendioxid, die aus biogenen Quellen stammen, an bzw. aus der Atmosphäre berücksichtigt. EPD bilanzieren nach CEN/TC 175 (2013) generell das am Systemeintritt im Holz gespeicherte CO₂ mit einem Minus an Emissionen durch die Entnahmen von Kohlendioxid aus der Atmosphäre und am Ende des Lebenszyklus als Emission im Falle einer Verwertung.

Eine Kohlenstoffspeicherung wird laut HOTTENROTH et al. (2013) und CEN/TC 175 (2013) unterschiedlich gehandhabt. In EPD wird diese als Zusatzinformation, aber nicht für die Berechnung mit aufgenommen. Für den CO₂-Fußabdruck von Produkten wird eine Speicherung von CO₂ in der Regel für die Berichterstattung berücksichtigt (außer in ISO/TS 14067).

4.3.3 Bilanzierung von Emissionen mineralischen Ursprungs

Emissionen mineralischen Ursprungs werden laut ExpertInnen speziell in Berechnungen des CO₂-Fußabdrucks von Produkten nicht explizit angeführt. Es werden jedoch sämtliche Treibhausgasemissionen und auch –entnahmen an bzw. aus der Atmosphäre für den gesamten Produktlebenszyklus berücksichtigt. Bei den Entnahmen kann es sich um eine

Bilanzierung von Kohlenstoffsinken handeln, wenn analog zur Biomasse, aus der Atmosphäre entnommenes CO₂ in Kohlenstoffverbindungen umgewandelt wird (ISO 2012).

Umweltproduktdeklarationen stellen durch die Notwendigkeit von Produktkategorieregeln (PKR) spezifischere Informationen für einzelne Branchen zur Verfügung, wodurch individuelle branchenspezifische EPD erstellt werden können. Dabei werden auch mineralverarbeitende Industriebereiche durch derartige PKR und EPD abgedeckt, welche die Behandlung von Treibhausgasemissionen mit berücksichtigen. Je nach Festlegung der Systemgrenze werden Emissionen des gesamten („cradle to grave“) oder von Teilen des Lebensweges eines Produkts („cradle to gate“) bilanziert. Bei einer Verwendung von erneuerbaren Rohstoffen als Ersatzbrennstoffe wird CO₂-Neutralität angenommen, da die Freisetzung gleich der Entnahme von Kohlendioxid ist. In Modul D können allfällige Gutschriften durch Recycling (Substitution von Frischmaterial) oder weiterführende energetische Verwertung (thermisch und elektrisch) angerechnet werden (IBU 2012a). Zusätzlich kann das Treibhausgaspotential ebenfalls durch den Karbonatisierungs-Prozess verringert werden, der beispielsweise bei Beton naturgemäß einsetzt. Dabei wird ein Teil des in die Atmosphäre freigesetzten Kohlendioxids gebunden und Calciumcarbonat hergestellt. Die Menge an aufgenommenem CO₂ hängt dabei vom Volumen des karbonatisierten Betons ab (IBU 2013c).

4.4 Resümee

Dieses Kapitel hat sich mit den derzeit vorhandenen Ansätzen zur Bewertung der Klimarelevanz auf unterschiedlichen Ebenen befasst. Dabei wurden vorwiegend klimarelevante Belastungen, welche durch die Herstellung von Holzprodukten und mineralischen Produkten entstehen, auf deren Berücksichtigung in der methodischen Herangehensweise geprüft. Aus dieser Analyse wurde ersichtlich, dass die Fähigkeit von Holz während des Wachstums CO₂ aus der Atmosphäre zu entnehmen und zu Biomasse aufzubauen bei Holzprodukten in Bewertungsmethoden abgebildet wird. Die entnommene Menge an Kohlendioxid wird während der Nutzungsdauer im Produkt gespeichert. Nach der Nutzung wird dieselbe Menge an Kohlendioxid wieder an die Atmosphäre abgegeben, wodurch sich eine CO₂-Neutralität für Biomasse ergibt. In den vorhandenen methodischen Ansätzen auf nationaler, betrieblicher und Produktebene ist ein ähnliches Bild zu erkennen, obwohl nur auf betrieblicher Ebene in der Regel von einer per-se CO₂-Neutralität von Biomasse ausgegangen wird. In den anderen Ebenen ergibt sich eine Neutralität aufgrund der Berechnung (z.B. Zuwachs im Wald gleicht der Entnahme aus dem Wald).

Die nationale Treibhausgas-Inventur berechnet Emissionen biogenen Ursprungs nach einer Bestandsbilanzierung. Dabei werden Entnahmen aus dem Wald als eine Freisetzung von Emissionen bewertet, indem weniger Kohlenstoff im Wald gebunden ist. Dieser wird dem Nachwachsen des Waldes, im Fall einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung, gegenübergestellt. Zusätzlich wird bei einer Herstellung von Holzprodukten eine Kohlenstoffspeicherung während der Nutzungsdauer bilanziert (siehe Abbildung 18).

Die Produktebene verwendet den Ansatz einer Flussbilanzierung entlang des Lebenszyklus eines Produkts. Dabei werden Entnahmen von CO₂ aus der Atmosphäre am Beginn des

Systems (durch den im Holz gebundenen Kohlenstoff) und Emissionen am Ende des Systems (durch die Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs in Form von CO₂) bilanziert. Eine Kohlenstoffspeicherung über die Nutzungsphase wird in den verschiedenen Ansätzen teilweise berücksichtigt (z.B. PAS 2050), beispielsweise aber nicht bei Umweltproduktdeklarationen (vgl. Abbildung 18).

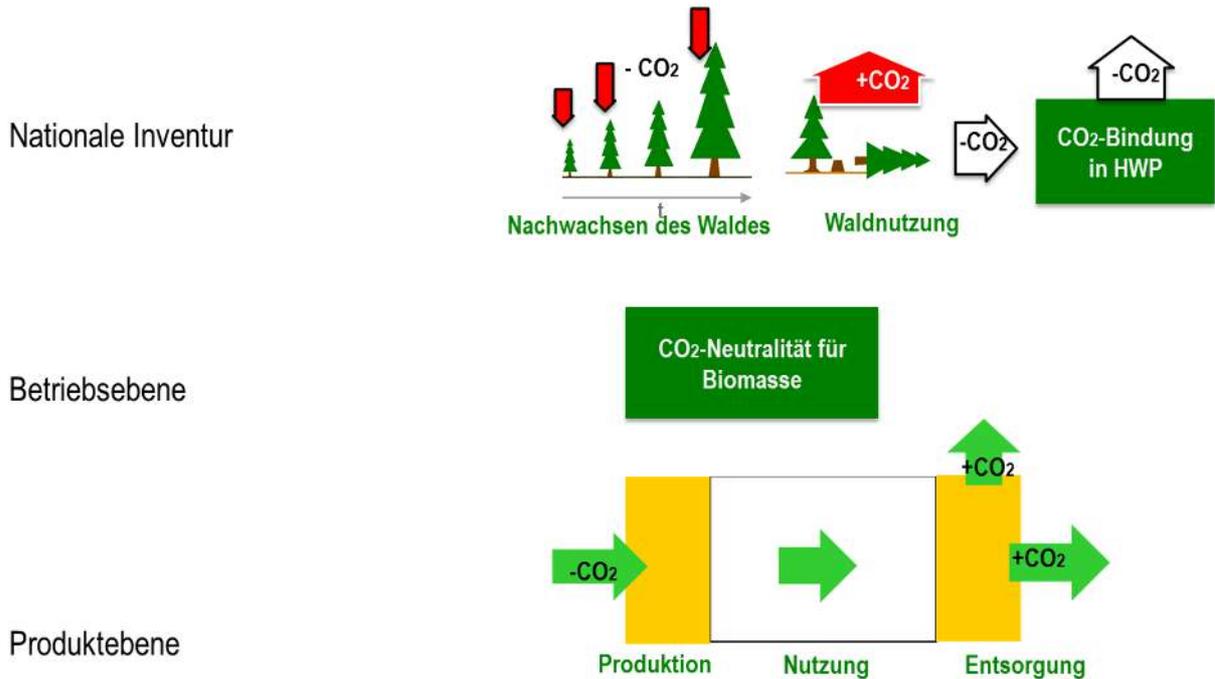


Abbildung 18: Zusammenfassung der Bilanzierung biogener Emissionen auf den unterschiedlichen Ebenen der Klimabewertung (Eigene Darstellung)

Die Rohstoffe mineralischer Baustoffe sind vorwiegend Gesteine oder Silikatverbindungen. Sie haben kaum einen nennenswerten biogenen Anteil, für den eine Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre berücksichtigt werden könnte. Nennenswert kann aber der Einsatz von mineralischen Rezyklaten und Baurestmassen sein, wenn diese die Entnahme von mineralischen Rohstoffe ersetzen.

Während des Produktionsprozesses von mineralischen Baustoffen kommt es zur Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre, die in der nationalen Treibhausgas-Inventur als verbrennungsbedingte Treibhausgasemissionen im Sektor „Energie“ ausgewiesen werden. Sie werden vor allem durch den Einsatz von biogenen Ersatzbrennstoffen soweit als möglich verringert. Weiters sind im Sektor „Industrie“ die prozessbedingten Emissionen angegeben, die durch den Rohstoff bedingt sind und somit nicht durch Maßnahmen verringert werden können.

5 Praxis der Klimabewertung von Holz- und Massivbaustoffen

Im nachfolgenden Kapitel werden verschiedenste Lebenszyklusanalysen anhand von Umweltproduktdeklarationen untersucht, um die speziell in Kapitel 4.3 beschriebene methodische Herangehensweise durch praktische Beispiele zu verdeutlichen. Dafür werden sowohl für Holzprodukte als auch für mineralische Produkte einige exemplarische Lebenszyklusanalysen analysiert, um die methodisch bedingten Unterschiede zwischen diesen beiden Produktgruppen darstellen zu können.

5.1 Praxisbeispiele für Holzprodukte

5.1.1 EPD Brettschichtholz (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.)

Das IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.) hat im Jahr 2010 eine Umweltproduktdeklaration für Brettschichtholz erstellt, um daraus dessen Umweltbelastungen identifizieren zu können. Es wurde dabei eine Art der Lebenszyklusanalyse gewählt, die nur den Herstellprozess, nicht aber die Nutzungsphase beinhaltet („Cradle to gate“). Die Betrachtung endet somit mit dem fertig verpackten Produkt bei Verlassen des Werkstors. Zusätzlich werden im Modul D (siehe Abbildung 17) Substitutionseffekte für die Erzeugung von erneuerbarer Energie am Ende des Produktlebenszyklus mit einbezogen. Das Brettschichtholz wird nach der Nutzung für eine vollständige energetische Verwertung eingesetzt. Als Referenzwert für die Substitution wird dabei Dampf aus Erdgas und der deutsche Energiemix gewählt (IBU 2010).

Abbildung 19 stellt anschließend das Ergebnis der Ökobilanz dar, bezogen auf die Klimawirksamkeit dieses Holzprodukts. Die x-Achse zeigt eine Freisetzung (positive Werte) oder Entnahme von Kohlendioxid (negative Werte) in bzw. aus der Atmosphäre. Die y-Achse stellt den jeweiligen Abschnitt des Lebenszyklus dar. Dabei ist zu sehen, dass am Beginn des Lebenszyklus ein deutliches Minus durch das im Holz gespeicherte und aus der Atmosphäre entnommene Kohlendioxid bilanziert wird. In weiterer Folge wird im Zuge des Herstellprozesses CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt und somit als Emission verbucht, allerdings in einem deutlich geringeren Ausmaß als die vorhergehende Kohlenstoffspeicherung. Am Ende des Lebensweges wird das Holz vollständig verbrannt, wodurch einerseits Emissionen entstehen, auf der anderen Seite wird dieser Erzeugung von erneuerbarer Energie (Strom und Wärme) allerdings ein gewisses Substitutionspotential zugeschrieben, indem fossile Energieträger ersetzt werden. Dadurch ergibt sich eine Gutschrift in Form von Senken für Kohlendioxid. Insgesamt resultiert daraus für die Gesamtbilanz eine Senke (ein Minus) von -147 kg CO₂ pro m³.

Der Haupteinflussfaktor für die Klimawirksamkeit (GWP) von Brettschichtholz ist dabei die Erzeugung der im Säge- und Holzwerk benötigten elektrischen Energie (IBU 2010).

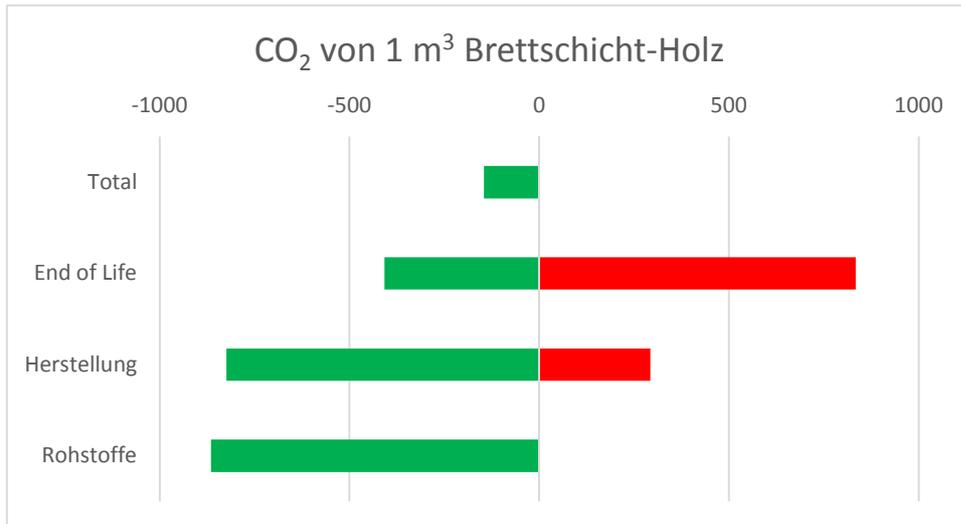


Abbildung 19: CO₂-Bilanz von 1m³ Brettschichtholz aus nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)

5.1.2 EPD Massivholzplatte (KLH Massivholz GmbH)

Für eine Platte aus Massivholz (Kreuzlagenholz) ist seit 2012 eine EPD verfügbar, welche die Umweltbeeinträchtigungen dieses Produkts darstellt. Als Systemgrenze wurde nach IBU (2012b) „von der Wiege bis zum Werkstor – mit Optionen“ gewählt, womit die Herstellung des Produkts der letzte zu betrachtende Abschnitt ist. Darüber hinaus können einzelne Phasen optional ergänzt werden, wie in diesem Fall das Modul D (siehe Abbildung 17). Die Nutzungsphase wird somit nicht mit berücksichtigt. Eine derartige Abgrenzung der Betrachtung wird problematisch gesehen, wenn nur die Gutschriften ohne die zugehörigen Belastungen in Modul C bilanziert würden.

Tabelle 1: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für Kreuzlagenholz (57 und 320mm) (IBU 2012b)

Parameter	Einheit	Produktion KLH 57 mm	Gutschrift KLH 57 mm	Produktion KLH 320 mm	Gutschrift KLH 320 mm
		A1-A3	D	A1-A3	D
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	[kg CO ₂ -Äq.]	-46	25	-264	140
Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	[kg CFC11-Äq.]	4,17E-07	-5,38E-08	2,19E-06	3,02E-07
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	[kg SO ₂ -Äq.]	0,023	0,018	0,126	0,102
Eutrophierungspotenzial (EP)	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	0,004	0,006	0,024	0,036
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	[kg Ethen-Äq.]	0,003	0,002	0,016	0,011
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	[kg Sb-Äq.]	4,03E-06	-4,89E-06	1,51E-05	-2,73E-05
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	[MJ]	77	-216	372	-1214

Tabelle 1 zeigt die gesamten Umweltbelastungen einer Massivholzplatte anhand von zwei verschiedenen Produktionsarten, wobei für diese Arbeit die Klimabelastungen durch das Treibhausgaspotential (GWP) von besonderem Interesse sind. Es ist ersichtlich, dass die

Herstellphase von dem im Holz gespeicherten Kohlendioxid geprägt ist, wodurch eine Kohlenstoffsénke verbucht werden kann. In Modul D wird nach den Angaben der Ersteller, wie für Brettschichtholz, ein Substitutionseffekt durch den Ersatz fossiler Brennstoffe bei der energetischen Verwertung erneuerbarer Rohstoffe angegeben. Daraus ergibt sich in Summe wiederum ein negatives Treibhausgaspotential für eine Massivholzplatte (IBU 2012b).

Hauptverantwortlich für das GWP ist somit das durch die Bindung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre beim betreffenden Holzprodukt negativ gerechnete CO₂.

5.1.3 EPD Mitteldichte Faserplatte (MDF) (Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.)

Die Umweltproduktdeklaration für eine MDF-Platte wurde als „von der Wiege bis zum Werkstor – mit Optionen“ durchgeführt. Dabei sind die gesamte Herstellphase sowie Teile der Nutzungsphase in der Ökobilanz enthalten. Zusätzlich wird auch das Modul D für mögliche Gutschriften in die Bilanzierung aufgenommen (IBU 2013a).

Tabelle 2: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1m³ MDF (IBU 2013a)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	-9,067E+2	1,196E+1	2,184E+2	6,519E-1	1,086E+3	0,0E+0	-3,558E+2
ODP	[kg CFC11-Äq.]	9,804E-6	2,388E-8	4,776E-5	1,303E-9	1,186E-6	0,0E+0	-8,105E-5
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,24E-1	9,196E-2	6,81E-1	2,8E-3	6,981E-3	0,0E+0	-3,643E-1
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	1,479E-1	2,063E-2	1,299E-1	6,485E-4	5,893E-4	0,0E+0	-3,485E-3
POCP	[kg Ethen-Äq.]	3,817E-2	1,084E-2	3,381E-1	3,03E-4	4,642E-4	0,0E+0	-2,44E-2
ADPE	[kg Sb-Äq.]	4,69E-5	2,522E-7	2,326E-4	1,376E-8	1,225E-7	0,0E+0	-6,138E-6
ADPF	[MJ]	3,682E+3	1,686E+2	2,571E+3	9,199E+0	4,616E+1	0,0E+0	-3,989E+3

Tabelle 2 stellt wiederum die Ergebnisse der Ökobilanz dieser EPD dar. Die Klimawirksamkeit einer MDF-Platte wird dabei getrennt nach Phasen des Lebenszyklus in Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalente dargestellt. Es ist zu erkennen, dass am Beginn (A1) eine große Menge an CO₂ als Minus durch den in Biomasse gespeicherten Kohlenstoff (umgewandeltes CO₂ aus der Atmosphäre) bilanziert wird (1790 kg). Die anschließenden Herstellprozesse setzen eine gewisse Menge an Emissionen davon wieder frei (558 kg), bis am Ende des Produktlebenszyklus die verbleibende im Produkt gespeicherte Kohlenstoffmenge bei der Verwertung als Altholz wieder aus dem System austritt (IBU 2013a).

5.1.4 EPD Laminatboden (Parador GmbH & Co. KG)

Diese Umweltproduktdeklaration für einen Laminatboden setzt als Systemgrenze die Option „von der Wiege bis zum Werkstor – mit Optionen“ fest. Dabei wird die gesamte Herstellphase inklusive Einbau des Produkts betrachtet. Hinsichtlich der Nutzungsphase werden nur der Transport und die energetische Verwertung am Lebensende berücksichtigt (IBU 2013b).

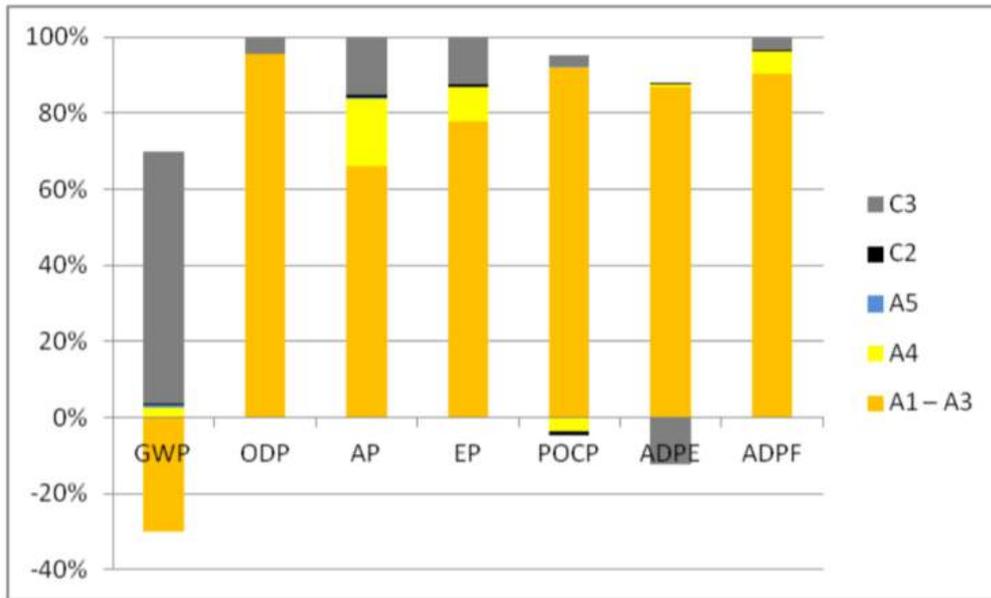


Abbildung 20: Umwelt- und Klimabelastungen von Laminatböden nach den einzelnen Modulen (IBU 2013b)

Abbildung 20 zeigt exemplarisch die Umweltbelastungen von Laminatböden, differenziert nach den einzelnen Abschnitten des Lebenszyklus. Hinsichtlich der für diese Arbeit speziell betrachteten Klimawirksamkeit (GWP) ist ein dominierender Einfluss der Produktionsphasen (A1-A3) als positiver (durch CO₂-Bindung) und die Entsorgung in einer Müllverbrennungsanlage (C3) als negativer Beitrag für den Klimaschutz zu erkennen. Die restlichen Abschnitte sind hingegen von nur sehr geringer Bedeutung. Mögliche Gutschriften (Modul D) sind für diese Betrachtung nicht einbezogen worden, da es sich dabei um ein nachgelagertes Produktsystem handeln würde (IBU 2013b). Insgesamt ergibt sich daraus ein positiver Wert (= negative Wirkung auf die Klimabilanz) für das Treibhausgaspotential (GWP).

5.2 Praxisbeispiele für mineralische Produkte

5.2.1 EPD für Betonlärmschutzwand (Bundesverband Leichtbeton e.V.)

Diese EPD für Betonlärmschutzwände betrachtet sämtliche Umweltauswirkungen dieses Produkts während der Herstellphase. Es handelt sich somit um eine „Wiege bis Werkstor“ Betrachtung, die allerdings Einwirkungen durch die Verpackungsentsorgung (A5) sowie mögliche Gutschriften (D) ebenfalls mit einbeziehen (IBU 2012a).

Tabelle 3: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1 Tonne Lärmschutzelemente aus Leichtbeton (IBU 2012a)

		Produktion	Einbau	Gutschrift
Parameter	Einheit	A1-A3	A5	D
Globales Erwärmungspotenzial	[kg CO ₂ -Äq.]	183,1	0,75	-1,40
Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht	[kg CFC11-Äq.]	6,31E-06	1,86E-10	-9,21E-11
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	[kg SO ₂ -Äq.]	3,94E-01	1,59E-04	-3,39E-03
Eutrophierungspotenzial	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	5,71E-02	4,27E-05	-3,53E-04
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon	[kg Ethen Äq.]	3,77E-02	1,34E-05	-4,85E-04
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	[kg Sb Äq.]	5,58E-04	6,75E-09	-5,24E-05
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	[MJ]	1169,2	0,32	-19,99

Die Umwelt- und Klimabelastungen, welche während des betrachteten Lebenszyklus einer Betonlärmschutzwand entstehen, sind in Tabelle 3 abgebildet. Das globale Treibhausgaspotenzial (= Klimawirksamkeit) des Herstellprozesses ist mit Abstand am bedeutendsten, da während dieser Phase speziell durch die Herstellung des Zements Treibhausgase freigesetzt werden. Der Aufwand des Einbaus macht nur geringe Anteile aus. In Modul D kann hingegen eine geringe Gutschrift für das Recycling des Stahlbands und die energetische Verwertung der Holzpaletten bilanziert werden (IBU 2012a).

5.2.2 EPD Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30

Eine Ökobilanz für Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30 wurde 2013 vom IBU erstellt. Dabei wurde die Systemgrenze „von der Wiege bis zum Werkstor – mit Optionen“ gewählt, die folgende Module mit berücksichtigt hat (IBU 2013c):

Die Herstellung des Produkts, der Einbau auf der Baustelle (Modul A), die Nutzungsphase (Modul B), Teile des „end of life“ (Modul C) sowie mögliche Gutschriften (Modul D) (IBU 2013c). Die Arbeit umfasst damit alle wesentlichen Emissionsbereiche und auch Modul D.

Tabelle 4: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1 m³ Konstruktionsbeton C 25/30 (IBU 2013c)

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3	D
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	[kg CO ₂ -Äq.]	211,1 ¹⁾	3,0	1,35	0 ²⁾	3,02	0,47	1,38	-23,08 ²⁾
Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	[kg CFC11-Äq.]	6,94E-7	1,60E-10	3,06E-9	0	1,63E-14	2,65E-11	7,45E-11	-9,57E-8
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	[kg SO ₂ -Äq.]	0,297	0,0094	9,18E-3	0	0,0288	4,74E-3	0,013	-0,041
Eutrophierungspotenzial (EP)	[kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.]	0,0472	0,0021	1,86E-3	0	6,13E-3	1,02E-3	2,80E-3	-5,91E-3
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	[kg Ethen Äq.]	0,0361	0,0012	6,49E-4	0	3,73E-3	7,12E-4	1,70E-3	-4,05E-3
Potenzial f. d. abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADP _{el})	[kg Sb Äq.]	3,78E-4	1,37E-7	5,15E-8	0	1,39E-7	2,17E-8	6,34E-8	-1,90E-6
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADP _{foss})	[MJ]	779,4	41,2	18,14	0	41,9	6,5	19,1	-242,7

Tabelle 4 zeigt sämtliche Umweltbelastungen, die während des betrachteten Lebenszyklus von 1 Kubikmeter Konstruktionsbeton verursacht werden. Hinsichtlich des Treibhausgaspotentials (GWP) ist die Herstellungsphase die klimaintensivste. Die restlichen Prozessschritte setzen hingegen kaum mehr Treibhausgasemissionen frei. In Modul D werden Gutschriften für die Wiederverwendung von Abfällen als Sekundärmaterial ausgewiesen (Substitution von Primärmaterial). Entnahmen von CO₂ durch die Karbonatisierung des Betons werden für die Berechnung des GWP nicht berücksichtigt, könnten jedoch zusätzlich betrachtet werden (IBU 2013c).

5.2.3 EPD Ziegel (Wienerberger AG)

Die Umweltproduktdeklaration für einen Ziegel der norwegischen Wienerberger AG wurde anhand einer „cradle to gate“ Betrachtung durchgeführt, die nur die Abschnitte der Herstellung (A1-A3) für die Berechnung berücksichtigt.

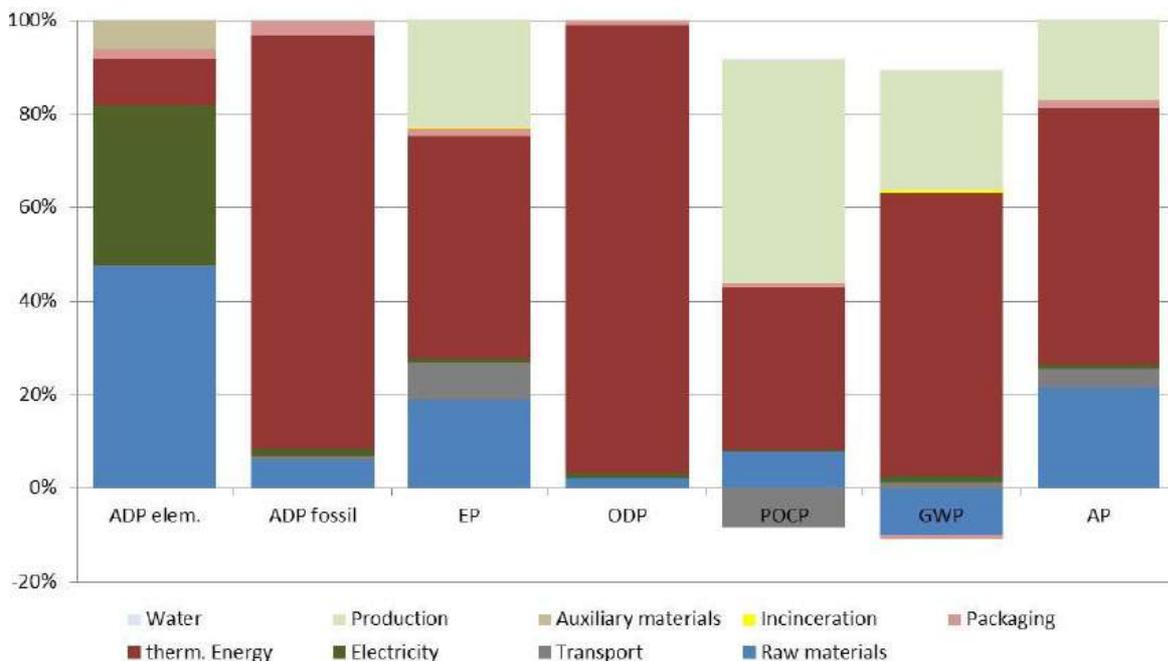


Abbildung 21: Umwelt- und Klimaauswirkungen einer Ökobilanz für 1 Tonne Ziegel (IBU 2014)

Abbildung 21 zeigt die gesamten Umwelt- und Klimaauswirkungen einer Tonne Ziegel für die einzelnen Phasen des Lebenszyklus. Bezogen auf das GWP ist der bedeutendste Einfluss die Bereitstellung thermischer Energie. Darüber hinaus ist der Produktionsprozess ebenfalls von klimarelevanter Bedeutung. Durch derartige Prozesse werden Treibhausgasemissionen freigesetzt und erhöhen somit das Treibhausgaspotential. Abgeschwächt wird dies durch die eingesetzten Rohstoffe, da verwendete Holzprodukte (z.B. Pellets, Papier) CO₂ aus der Atmosphäre in Form von Kohlenstoff gebunden haben (siehe Abbildung 21). In Summe dominieren jedoch die freigesetzten Emissionen durch den Energieeinsatz (IBU 2014).

5.2.4 EPD Öko-Kalksteine (MEIER Betonwerke GmbH)

Die Meier Betonwerke GmbH hat im Jahr 2011 eine EPD für das Produkt Öko-Kalkstein erstellen lassen. Dabei wurde als Systemgrenze der Herstellprozess gewählt („cradle to gate“). Nutzungs- und Entsorgungsphase wurden dabei nicht mit berücksichtigt. Dabei wurden drei unterschiedliche Produkte betrachtet, Hohlblock (Hbn) mit den Druckfestigkeitsklassen 6 (7,5 N/mm²) und 12 (15 N/mm²) sowie massiver Vollblock (Vbn) mit einer Druckfestigkeitsklasse von 20 (25N/mm²) (IBU 2011).

Tabelle 5: Umwelt- und Klimabelastungen der Ökobilanz für 1 m³ Öko-Kalkstein (IBU 2011)

Auswertegröße	Einheit pro m ³	Hbn 12	Hbn 6	Vbn 20
Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	[kg Sb-Äqv.]	0,29	0,21	0,42
Treibhauspotenzial (GWP)	[kg CO ₂ -Äqv.]	107	75,0	164
Ozonabbaupotenzial (ODP)	[kg R11-Äqv.]	4,66E-06	3,53E-06	6,28E-06
Versauerungspotenzial (AP)	[kg SO ₂ -Äqv.]	0,21	0,15	0,31
Eutrophierungspotenzial (EP)	[kg PO ₄ -Äqv.]	0,03	0,02	0,04
Sommersmogpotenzial (POCP)	[kg Ethen-Äqv.]	0,02	0,01	0,03

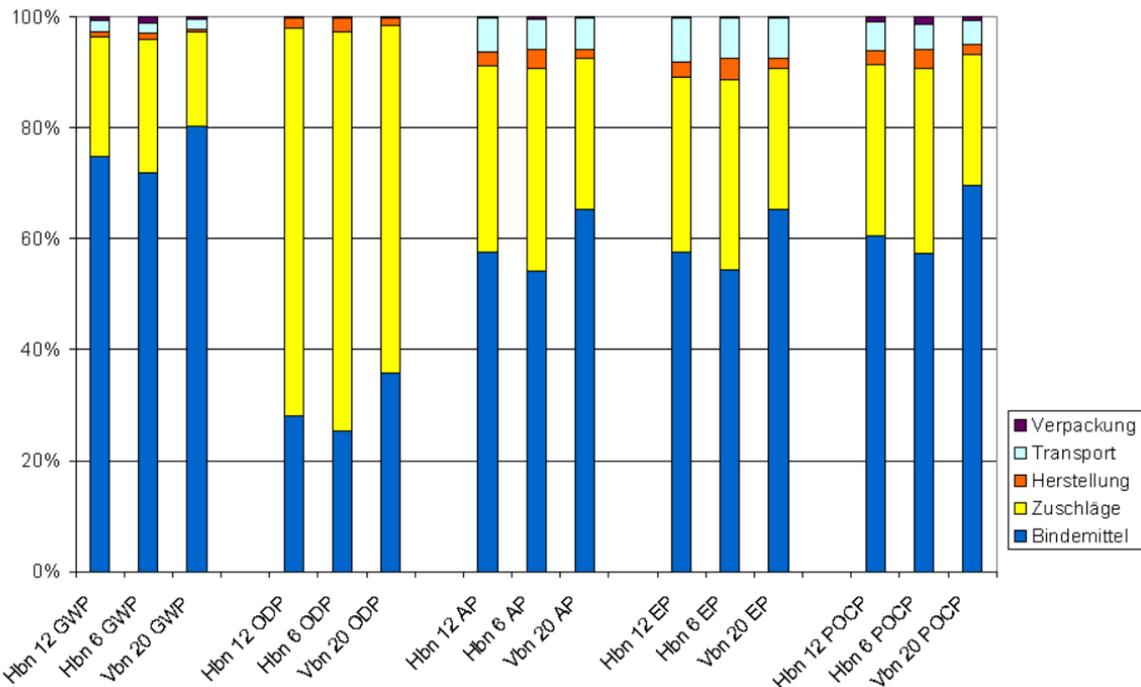


Abbildung 22: Relative Beiträge einzelner Verursacher innerhalb der Wirkungsklassen (IBU 2011)

Sämtliche umwelt- und klimarelevanten Auswirkungen durch die Herstellung von Öko-Kalkstein sind in Tabelle 5 für drei verschiedene Produktvarianten abgebildet (Hbn = Hohlblock, Vbn = Vollblock). Das Treibhausgaspotential variiert dabei je nach Produkt zwischen 75 und 164 kg CO₂equ. Hauptverantwortlich für die Freisetzung von

Treibhausgasemissionen ist dabei die Herstellung des hydraulischen Kalks, der als Bindemittel eingesetzt wird (IBU 2011, siehe Abbildung 22).

5.3 Resümee

Die exemplarischen Beispiele einer lebenszyklusbasierten Produktbewertung anhand von unterschiedlichen Umweltproduktdeklarationen zeigen beim Treibhausgaspotential die Unterschiede zwischen Holzprodukten und mineralischen Produkten.

Für Holzprodukte wird in einer EPD derzeit der im Holz gebundene Kohlenstoff beim Eintritt in das System als negative Emission gerechnet, wenn das dafür verwendete Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung stammt. Der gespeicherte Kohlenstoff wird am Lebensende bei thermischer Verwertung wieder freigesetzt, was letztlich zur Neutralität des Kohlenstoffs im Holz führt. Allerdings wird eine Gutschrift bei der Substitution von fossiler Energie durch die energetische Verwertung am Ende des Lebenszyklus gerechnet (siehe Abbildung 19, Kapitel 5.1.1), die bei Holzprodukten teilweise zu negativen Salden führt.

Derartige Substitutionseffekte werden mit dem derzeit vorhandenen Energiemix berechnet, obwohl die tatsächliche Verbrennung der Produkte erst nach Ablauf der Lebensdauer erfolgt. Durch klima- und energiepolitische Vorgaben wird sich speziell bei längerer Nutzungszeit der Produkte der nationale Energiemix jedoch deutlich in Richtung erneuerbarer Energieträger verändern, was zu einer Verringerung der Substitutionseffekte führen würde. Abbildung 23 zeigt exemplarisch, wie die CO₂-Bilanz von Brettschichtholz ohne Substitutionseffekte (durch einen auf erneuerbaren Energien basierten nationalen Energiemix) aussehen könnte. Daraus ist zu erkennen, dass die Klimabilanz von einer Netto-Senke zu einer Netto-Quelle werden würde.

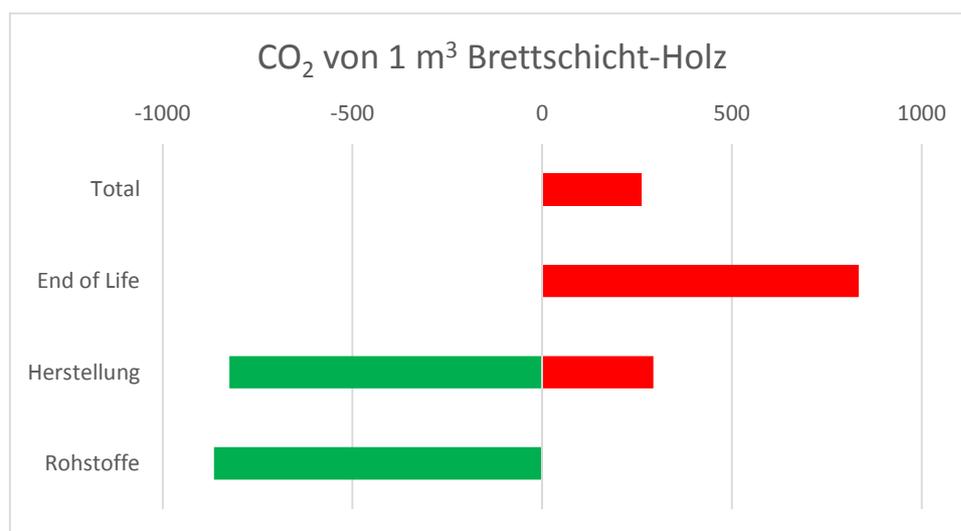


Abbildung 23: CO₂-Bilanz von 1m³ Brettschichtholz aus nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft ohne Substitutionseffekte (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)

Derartige Bilanzierungen dürfen jedoch nur für Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft angewendet werden. Speziell für importiertes Holz ist jedoch die Herkunft aus nicht nachhaltiger Forstwirtschaft bis hin zu illegalen Holzimporten möglich. In diesen Fällen würde bei einer CO₂-Bilanzierung die Menge an im Holz gebundenen Kohlenstoff nicht als Minus in die

Bilanzierung eingehen, da kein erneutes Nachwachsen sichergestellt ist. Somit würde sich eine noch deutlichere Netto-Quelle im Zuge der Verarbeitung und letztlich Verbrennung ohne Substitutionseffekte für CO₂ als in Abbildung 23 ergeben (siehe Abbildung 24).

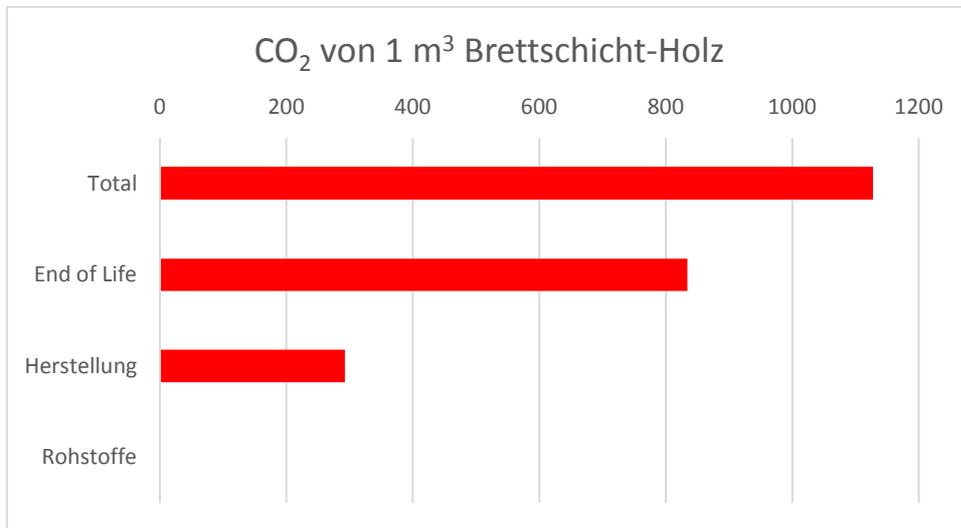


Abbildung 24: CO₂-Bilanz von 1m³ Brettschichtholz aus nicht nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft ohne Substitutionseffekte (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)

Obige Ausführungen und Darstellungen zeigen, dass sowohl die Herkunft des Holzes als auch sich verändernde Rahmenbedingungen für die angenommenen Substitutionsfaktoren einen erheblichen Einfluss auf die CO₂-Bilanz von Holz haben. Es wäre daher eine detaillierte Betrachtung dieser Themenbereiche für die korrekte Beschreibung der Belastungen hinter den Produkten wünschenswert.

Für mineralische Produkte wie beispielsweise Ziegel startet die CO₂-Bilanzierung in einer EPD in der Regel mit einer Emissionsfreisetzung durch den Produktionsprozess, da in den Ausgangsstoffen kein CO₂ aus der Atmosphäre in Form von gespeichertem Kohlenstoff vorliegt. Mögliche Gutschriften können dabei für Recyclingmaterial, das nach dem Lebensende aus den Baustoffen erhalten werden kann, angewendet werden. Deren Höhe orientiert sich dabei am Aufwand, der für die Bereitstellung des substituierten Materials notwendig war. Dabei ist aber die, für die jeweilige Funktion entsprechende Eignung und Qualität zu beachten.

Durch die derzeit noch fossile Ausrichtung der Energieversorgung sind die thermischen Verwertungen bei den Gutschriften oft im Vorteil, da nicht die zukünftig angestrebte oder erwartete Situation sondern der aktuelle Stand herangezogen wird. Die Eigenschaft des Materialerhalts bei langlebigen Massivbaustoffen wird angesichts der aktuellen Situation derzeit nicht entsprechend honoriert. Da generell mit einer Abkehr von kurzlebigen Produkten hin zu dauerhaften, langlebigen Gütern zu rechnen ist, müsste zukünftig langer Lebensdauer und dem Materialerhalt erhöhte Bedeutung zukommen.

6 Aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen zur CO₂-Bilanzierung

Neben den bereits beschriebenen Ebenen der Klimabewertung befasst sich auch die Wissenschaft laufend mit der Bilanzierungsmethodik von Treibhausgasemissionen. Eine Arbeitsgruppe, die sich speziell mit der Treibhausgasbilanz und den Auswirkungen von verschiedenen Biomasse- und Bioenergie-Systemen auf den Klimawandel beschäftigt, ist die Bioenergy Task 38 der IEA (International Energy Agency), die sich aus VertreterInnen verschiedener Ländern zusammensetzt. Aufgabe der Task 38 ist die Erarbeitung einer besseren Kenntnis über klimarelevante Auswirkungen von einzelnen Biomasse- und Bioenergie-Systemen anhand einer Lebenszyklusbetrachtung (IEA BIOENERGY TASK 38 2013).

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den aktuellen wissenschaftlichen Ansätzen der IEA Bioenergy Task 38 hinsichtlich der CO₂-Bilanzierung von Holzbiomasse. Dabei soll geprüft werden ob bzw. wie sich diese Ansätze von den vorhandenen Bewertungsmethoden unterscheiden sind und welche möglichen Auswirkungen zu erwarten wären.

6.1 Derzeitiger Ansatz – Standard-Methodik der IEA Bioenergy Task 38

Die „Task 38“ hat für die Berechnung von Treibhausgasemissionen eine Methodik entwickelt, die im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem dargestellt ist (siehe Abbildung 25). Blaue Pfeile stellen Kohlenstoffflüsse (= carbon flow) dar, grüne Pfeile kennzeichnen Energieflüsse (= energy flow) (IEA BIOENERGY TASK 38 2013).

Das biogene System (= bioenergy system) beginnt mit einer durch das Wachstum der Pflanzen (Photosynthese) bedingten Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre, aus dem die Waldbiomasse aufgebaut wird (carbon fixation = Kohlenstofffixierung). Bei Nutzung der Biomasse (Harvesting = Ernte, Processing = Verarbeitung, Transport, Storage = Lagerung) wird der darin gespeicherte Kohlenstoff in das System eingebracht (Biomass = Biomasse). Während dieser Prozesse werden Emissionen (auxiliary fossil energy emissions = Emissionen aus fossiler Hilfsenergie) freigesetzt und zusätzlich Nebenprodukte (= by-products) erzeugt, wodurch ein Teil des entnommenen Kohlendioxids wieder in die Atmosphäre zurückfließt. In weiterer Folge wird der weiterhin im System gebundene Kohlenstoff zu nutzbarer Energie in Form von Strom oder Wärme umgewandelt (Conversion in heat and power plants = Umwandlung in Anlagen zu Strom und Wärme) und der restliche gespeicherte Kohlenstoff in Form von CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben (vgl. Abbildung 25).

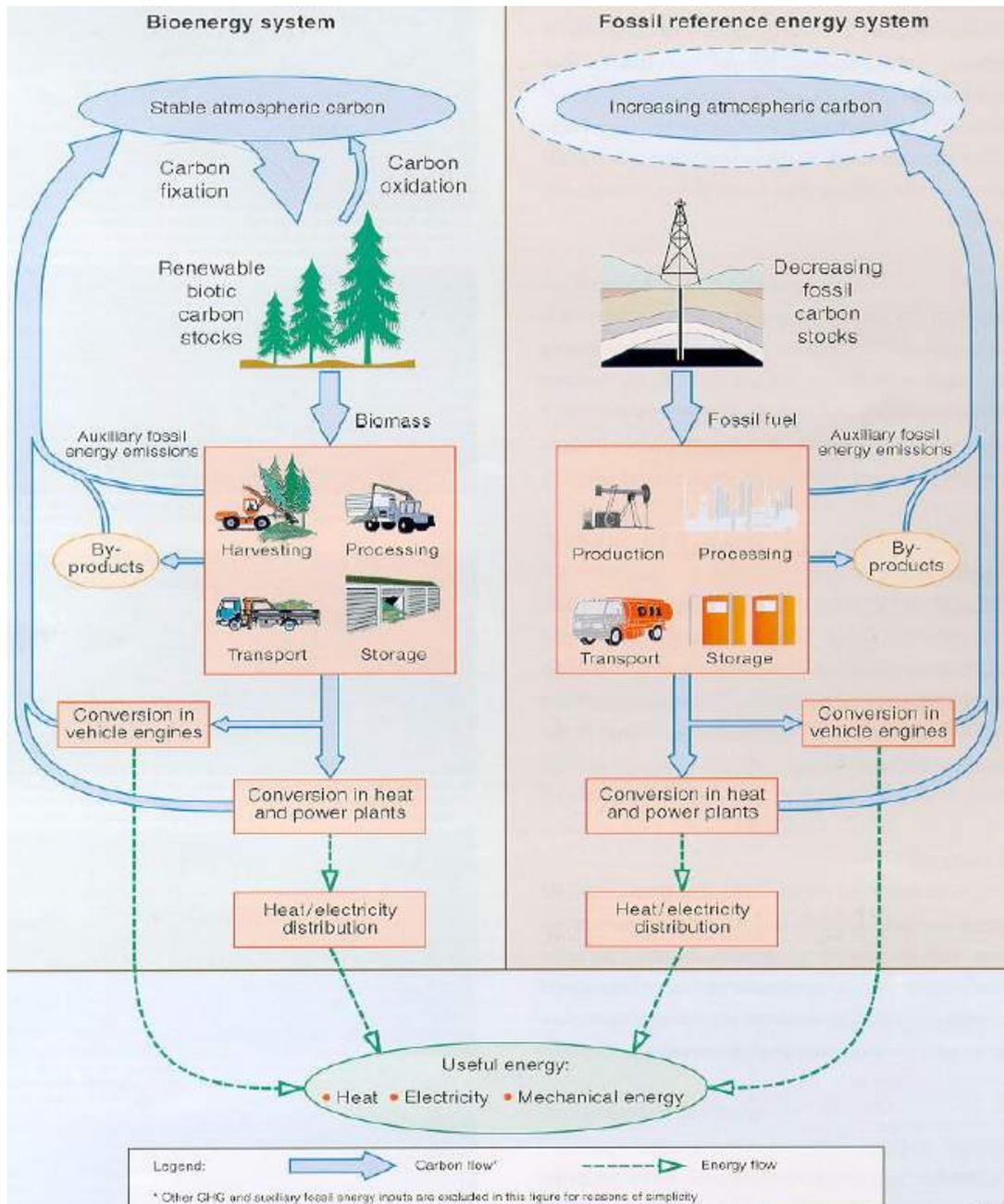


Abbildung 25: Treibhausgas-Bilanzierung eines biogenen und fossilen Systems (IEA BIOENERGY TASK 38 2013)

Das fossile System ist analog zu betrachten, allerdings mit dem Unterschied, dass kein Kohlendioxid aus der Atmosphäre entnommen wird und damit der Emission am Ende des Systems keine Reduktion gegenüber steht (IEA BIOENERGY TASK 38, 2013). Am Ende des Lebenszyklus wird das biogene dem fossilen System gegenübergestellt, indem eine Darstellung der Kohlenstoffäquivalente pro erzeugtem Output erfolgt. Eine derartige Analyse kann die Vorteile von biogenen gegenüber mineralischen Rohstoffen darstellen (WOESS-GALLASCH et al. 2013).

Es handelt sich bei dieser Methodik um eine Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse, wobei am Systemeintritt nach BIRD et al. (2009) und BIRD et al. (2010) ein Minus an Emissionen, in Form von aus der Atmosphäre entnommenen und im Holz gebundenem CO₂ verbucht wird. Am Systemaustritt erfolgt eine energetische Verwertung, die als Emissionsfreisetzung bewertet wird. Daraus ergibt sich bei nachhaltiger Forstwirtschaft eine Senke, Quelle oder Neutralität für Kohlendioxid (vgl. Abbildung 26).

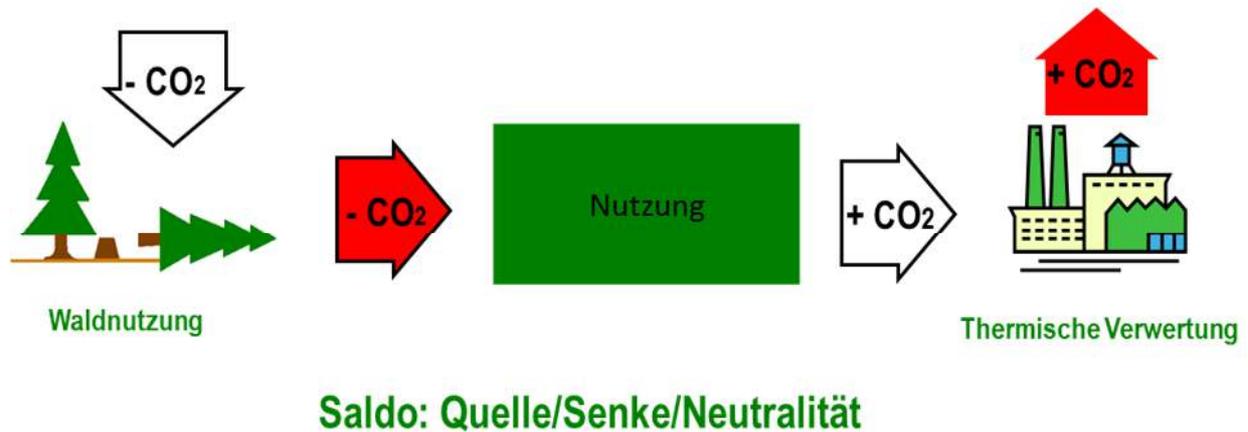


Abbildung 26: Bisherige Bewertung der Kohlenstoffbilanzierung (Eigene Darstellung, nach BIRD et al. 2010)

Die dargestellte Methodik der CO₂-Bilanzierung von Holzbiomasse wird laut BIRD et al. (2010) jedoch ohne zeitlich dynamische Betrachtung angewendet. Der Zeitpunkt der Freisetzung von Emissionen und Entnahmen von Kohlendioxid aus der Atmosphäre wird dementsprechend nicht abgebildet. Dies trifft grundsätzlich auf eine Lebenszyklusanalyse zu, die den Fokus auf die gesamten umweltrelevanten Auswirkungen eines Produkts legt und der Zeitpunkt der Emissionsfreisetzung nicht von besonderer Relevanz ist (BIRD et al. 2011).

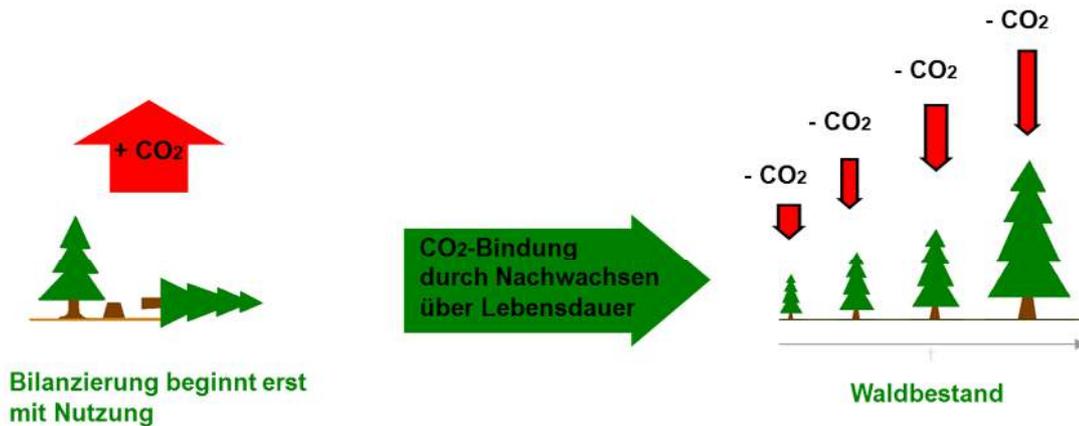
6.2 Neue wissenschaftliche Ansätze – Überarbeitung der Standard-Methodik durch Einbeziehung zeitlicher Aspekte

Eine laufende Überarbeitung der beschriebenen Standard-Methodik der Task 38 ist laut WOESS-GALLASCH et al. (2013) durch ständig verändernde Ziel- und Fragestellungen unausweichlich. Seit einigen Jahren steht vor allem die Einbeziehung zeitlicher Aspekte auf dem Programm, die in den Kapiteln 6.2.1 bis 6.2.3 näher beschrieben werden. Darüber hinaus werden auch Landnutzungsänderungen oder der Albedo-Effekt für eine Adaptierung der Methodik untersucht, die im Zuge dieser Arbeit allerdings nicht weiter behandelt werden. Es sollte dennoch erwähnt werden, dass Emissionen, die durch Veränderung der Bewirtschaftungsform entstehen, in jedem Fall mit berücksichtigt werden müssen, obwohl diese noch durch Unsicherheiten in den bestehenden Modellen geprägt sind. Darüber hinaus sollten derartige Emissionen nicht isoliert, sondern in Zusammenhang mit einer daraus resultierenden Veränderung des Albedo-Effekts betrachtet werden, um einen vollständigen Klimaeinfluss darzustellen. Beispielsweise zeigen bereits durchgeführte Studien, dass Aufforstungen und Wiederaufforstungen in Gebieten mit starker Schneebedeckung und großer Anzahl an Sonnenstunden nicht immer zu gewünschten Klimaschutzeffekten durch die CO₂-Bindung während des Waldwachstums führen, da die positiven Wirkungen durch Veränderungen des Albedos (dunkle Flächen führen zu höherer Absorption der Sonneneinstrahlung) reduziert bzw. neutralisiert werden können (WOESS-GALLASCH et al. 2013).

Hinsichtlich der Nutzung von Holzbiomasse werden nachfolgend drei unterschiedliche Varianten (thermische Nutzung, stoffliche Nutzung, Nutzung von Reststoffen aus Holzbiomasse) auf eine Einbeziehung einer zeitlich dynamischen Entwicklung untersucht und die jeweiligen Bilanzierungsmethoden dargestellt.

6.2.1 Thermische Nutzung von Holzbiomasse

Kernpunkt ist die beim Einschlag angenommene unmittelbare Verbrennung der Holzbiomasse, wodurch zum Zeitpunkt des Holzeinschlags die volle Emission in Höhe des im entnommenen Holz gebundenen Kohlenstoffs verbucht wird. Diese Emission wird anschließend durch das Nachwachsen des Waldes (in einem nachhaltig bewirtschaftetem Forst) über die Zeit reduziert bzw. kompensiert (siehe Abbildung 27). Die in der Atmosphäre verbleibende Menge an Kohlendioxid hängt somit von der Zeitperiode ab, die für das Nachwachsen des Waldes angenommen wird.



Saldo verändert sich mit der Zeit

Abbildung 27: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine sofortige thermische Verwertung (Eigene Darstellung, nach CHERUBINI et al. 2012)

6.2.2 Stoffliche Nutzung von Holzbiomasse

Abbildung 28 zeigt diesen neuen Ansatz der Bilanzierung inklusive zeitlicher Entwicklung für eine nach dem Holzeinschlag stattfindende stoffliche Nutzung in Form von Holzprodukten mit energetischer Verwertung am Ende des Lebenszyklus. In diesem Fall wird am Systemeintritt die Bindung von Kohlendioxid durch das Nachwachsen des Waldes (bei einer nachhaltigen Forstwirtschaft) über die Nutzungsdauer eines Produkts bilanziert. Am Ende dieser Lebensdauer wird eine energetische Verwertung mit einer Emissionsfreisetzung verbucht. Zu diesem Zeitpunkt hat die Speicherung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in dem nachgewachsenen Wald bereits eingesetzt. Somit hängt eine mögliche Senke, Quelle oder Neutralität an Kohlendioxid von der Nutzungsdauer der Produkte ab (GUEST et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b).

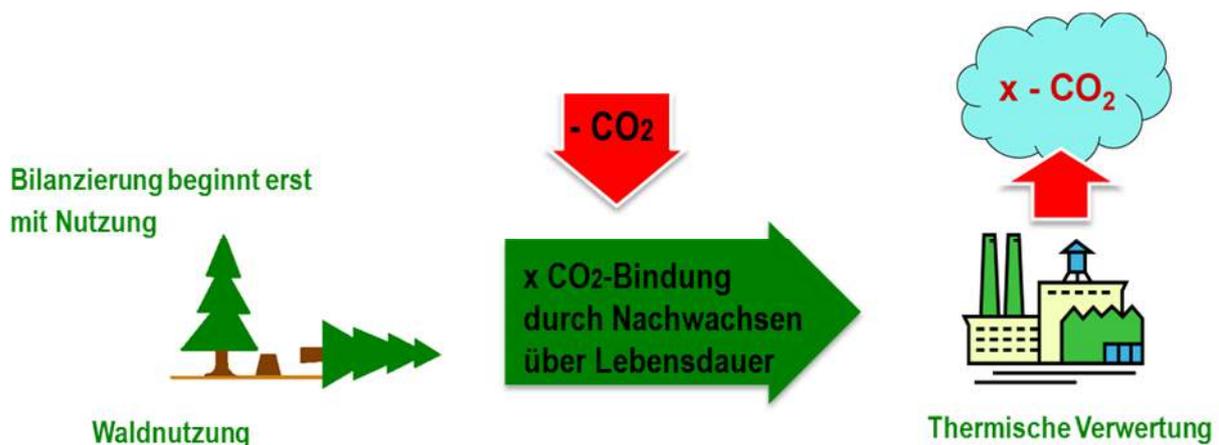


Abbildung 28: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine stoffliche Nutzung (Eigene Darstellung, Guest et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)

6.2.3 Nutzung von Reststoffen aus Holzbiomasse

Als dritte Variante wird die Nutzung von biogenen Reststoffen untersucht. Dabei wird eine für holzbezogene Reststoffe zum Zeitpunkt der energetischen Verwertung eine vollständige Emissionsfreisetzung in Höhe des in den Reststoffen gebundenen Kohlenstoffs verbucht. Im Laufe der Zeit reduziert sich diese Emission durch die Annahme, dass Reststoffe ohne Nutzung ohnehin biologisch zersetzt werden und somit CO₂ freisetzen würden. Es ergibt sich für dieses System somit lediglich eine früher eintretende Freisetzung von Kohlendioxid, die durch Alterungsprozesse in jedem Fall entstehen würde (vgl. Abbildung 29).

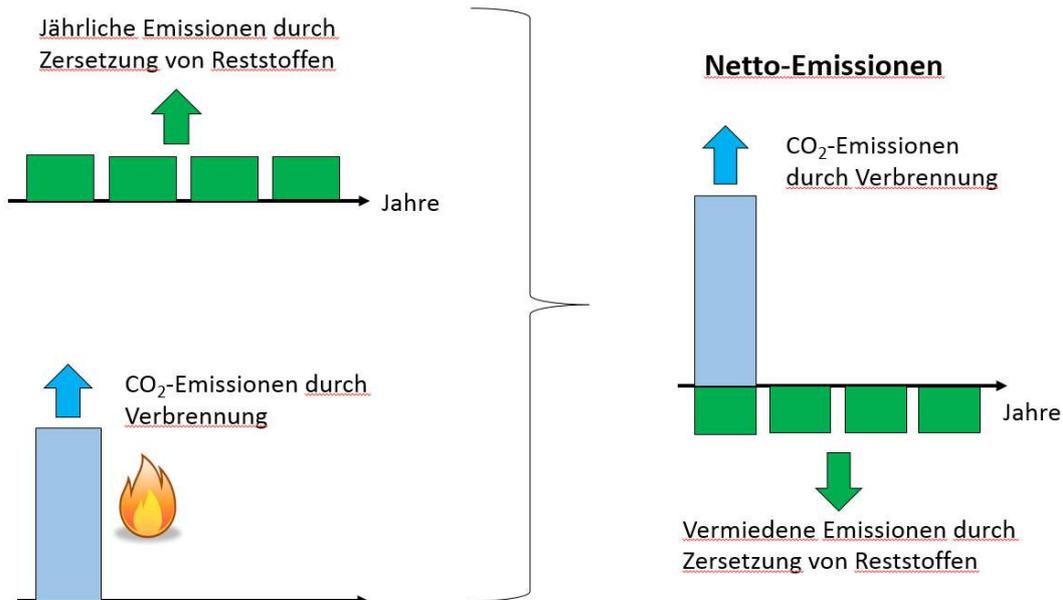


Abbildung 29: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine Reststoffverwertung (ZETTERBERG 2012)

Die beschriebenen Varianten der Nutzung von Holzbiomasse mit Berücksichtigung einer zeitlichen Komponente für die Bewertung der Klimawirksamkeit von Produkten unterscheiden sich demnach von den derzeitigen Ansätzen zur CO₂-Bilanzierung, bei denen eine derartige zeitlich dynamische Entwicklung in den vorhandenen Methoden nur auf nationaler Ebene in ähnlichem Ausmaß etabliert ist.

Wie sich diese neuen wissenschaftlichen Ansätze nun aber in der Realität auswirken, hängt speziell von der konkreten Umsetzung dieser methodischen Herangehensweisen ab, die bis dato noch nicht erfolgt ist. Mögliche Varianten der Implementation sollen im nachfolgenden Kapitel 7 dargestellt und daraus mögliche Auswirkungen abgeleitet werden (Kapitel 8).

6.3 Wasser-Fußabdruck („water footprint“)

Vor einigen Jahren wurde der Water Footprint als ein Umweltindikator für die Inanspruchnahme der Wasserressourcen vorgestellt (HOEKSTRA and HUNG 2002). Im letzten Jahrzehnt konnte das Konzept im Rahmen des Water Footprint Networks (WFN) überarbeitet und methodisch fundiert werden (HOEKSTRA et al. 2011). Dabei wird in verschiedene Arten der Wassernutzung unterschieden:

- **Blaues Wasser** enthält alles Oberflächenwasser und Grundwasser, das vom Prozess verwendet wird. Dabei ist auch Bewässerung aus diesen Quellen enthalten.
- **Grünes Wasser** stellt die Evapotranspiration der Pflanzen des Wassers aus Bodenfeuchte und Niederschlag dar.
- **Graues Wasser** beschreibt letztlich die Wasserbelastung über die Menge an Wasser, die durch Verunreinigung verschmutzt wird.

Daneben existieren auch zahlreiche andere Ansätze zur Bewertung des Wasserverbrauchs, die teilweise deutliche methodische Unterschiede aufweisen. Ein auf Life Cycle Assessment (LCA) beruhender Ansatz bewertet die Wirkung der Herstellung von Produkten auf die Wasserressource. Dieser Ansatz ist in der ISO 14046 – Environmental management - Water footprint – Principles, requirements and guidelines festgelegt.

Der wesentliche Unterschied der auf Volumen basierten Ansätze zum Impact bezogenen Water Footprints ist der Bezug zur Wasserverfügbarkeit, bzw. –knappheit. Derzeit führt die Bewertung der Wasserelevanz von Produkten nach verschiedenen Methoden zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen BERGER und FINKBEINER (2012). Hierbei ist ein wesentlicher Unterschied die Behandlung der Evapotranspiration der Pflanzen. Die WFN Methode inkludiert die Wasserverdunstung während LCA Ansätze diese Mengen nicht berücksichtigen. Eine breitere Anwendung des WFN Ansatzes würde daher bei Holzprodukten zu einer Verschiebung der Wasserbelastungen weg von den Produktionsprozessen hin zur Bereitstellung des Holzes im Forst führen.

7 Mögliche Umsetzung aktueller wissenschaftlicher Entwicklungen

Die in Kapitel 4 beschriebenen Ebenen der Klimabewertung mit den derzeit angewendeten methodischen Ansätzen, speziell hinsichtlich der CO₂-Bilanzierung von Biomasse, zeigen deutliche Diskrepanzen zu aktuellen Entwicklungen auf wissenschaftlicher Ebene (Einbeziehung zeitlicher Aspekte durch IEA Bioenergy Task 38). Beispielsweise ist nur die Bilanzierung in der nationalen Treibhausgas-Inventur in dem Sinne zeitlich dynamisch, indem jedes Jahr eine derartige Berichterstattung erfolgt. Innerhalb dieser Periode wird allerdings keine zeitliche Entwicklung berücksichtigt. Die Produkt- und Betriebsebene haben diese Komponente noch nicht in ihre Methodik einbezogen.

Dieses Kapitel befasst sich mit mögliche Auswirkungen durch die Einbeziehung einer zeitdynamischen Betrachtung auf die Bewertung der Nutzung von Holzbiomasse für eine stoffliche bzw. energetische Verwertung sowie die Verwendung von Massivbaustoffen. Dabei werden mögliche Umsetzungen der in Kapitel 6.2 erläuterten wissenschaftlichen Ansätze angenommen und die Ergebnisse eines selbst erstellten Modells dargestellt.

7.1 Auswirkungen auf die thermische Holznutzung

Die Verbrennung von Holzbiomasse wird bisher sowohl auf betrieblicher und Produktebene, als auch in der nationalen Treibhausgas-Inventur (im Sektor „Energie“) CO₂-neutral bewertet (siehe Kapitel 4). Neue wissenschaftliche Ansätze der IEA Bioenergy Task 38 könnten für die mittlerweile etablierte Annahme der Klimaneutralität von Biomasseverbrennungen Veränderungen herbeiführen.

Wie eine mögliche Umsetzung des in Kapitel 6.2.1 beschriebenen wissenschaftlichen Ansatzes für die sofortige Verbrennung der Holzbiomasse aussehen könnte, ist in Abbildung 30 dargestellt. Dabei wird laut CHERUBINI et al. 2011 (zit. nach CHERUBINI et al. 2012b) eine Betrachtung von zeitlich abhängigen CO₂-Fixierungsraten nach der Emissionsfreisetzung zum Zeitpunkt des Einschlags und anschließender Verbrennung abgebildet. Auf der x-Achse ist die Zeit in Jahren (= time) und auf der y-Achse der CO₂-Anteil für unterschiedliche Umtriebszeiten (r) dargestellt. Laut ZETTERBERG (2012) wird die aus der Biomasseverbrennung resultierende Emission durch das Nachwachsen des Waldes (in einem nachhaltigen Forst) kompensiert. Die Bilanzierung beginnt somit mit einer Emission, die über die Zeit durch die Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre während des Nachwachsens reduziert bzw. kompensiert wird. Aus Abbildung 30 ist zu erkennen, dass auch fossile Emissionen (schwarze Linie) eine Emissionsreduktion im Laufe der Zeit aufweisen, was möglicherweise durch Veränderungen des Albedo begründet werden kann. Die restlichen Emissionen stammen aus biogenen Quellen und erfahren hingegen eine deutlich stärkere Abschwächung der Emissionen bis hin zu einer geringen Überkompensation in Form einer Kohlenstoff-Senkenfunktion, die sich durch Zersetzung der nachgewachsenen Biomasse im Laufe der Zeit wieder reduziert. Die Geschwindigkeit der Emissionsreduktion ist allerdings für unterschiedliche Umtriebszeiten sehr heterogen. Je kürzer diese Zeit, desto schneller sinken die entstandenen Emissionen (siehe Abbildung 30).

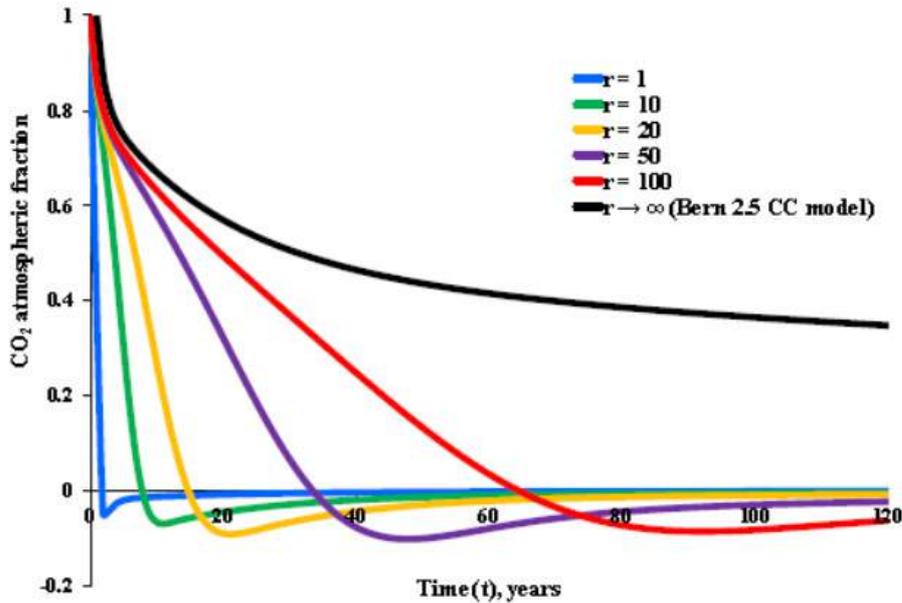


Abbildung 30: Zeitliche Entwicklung von CO₂-Fixierungsraten fossiler und biogener Quellen mit Betrachtung unterschiedlicher Umtriebszeiten (0 = CO₂-Neutralität, positiv = Emission, negativ = Senke) (CHERUBINI et al. 2011, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)

Neben einer Nutzung von frischer Holzbiomasse kann vor allem für die Verbrennung von Holzbiomasse die Nutzung biogener Reststoffe von besonderem Interesse sein. Abbildung 31 zeigt die Klimabelastung für die Nutzung von holzbezogenen Reststoffen für eine thermische Verwertung. Dabei wird der Emissionsfaktor (y-Achse) für fossile (Kohle) und biogene Reststoffe (Holzstümpfe, Äste) in der zeitlichen Entwicklung (x-Achse) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass zum Zeitpunkt Null für alle Rohstoffe ein Emissionsausstoß durch die Verbrennung stattfindet. Dieser verbleibt für den fossilen Rohstoff (Kohle) linear konstant in der Atmosphäre. Im Vergleich dazu weisen die biogenen Rohstoffe einen kontinuierlichen Rückgang der Emissionen auf, der laut ZETTERBERG (2011) mit dem Vergleich zu einem Referenzszenario, bei dem durch Zersetzung und Abbau von biogenem Material Kohlendioxid entsteht und somit im Fall einer energetischen Verwertung Emissionen vermieden werden, zu erklären ist.

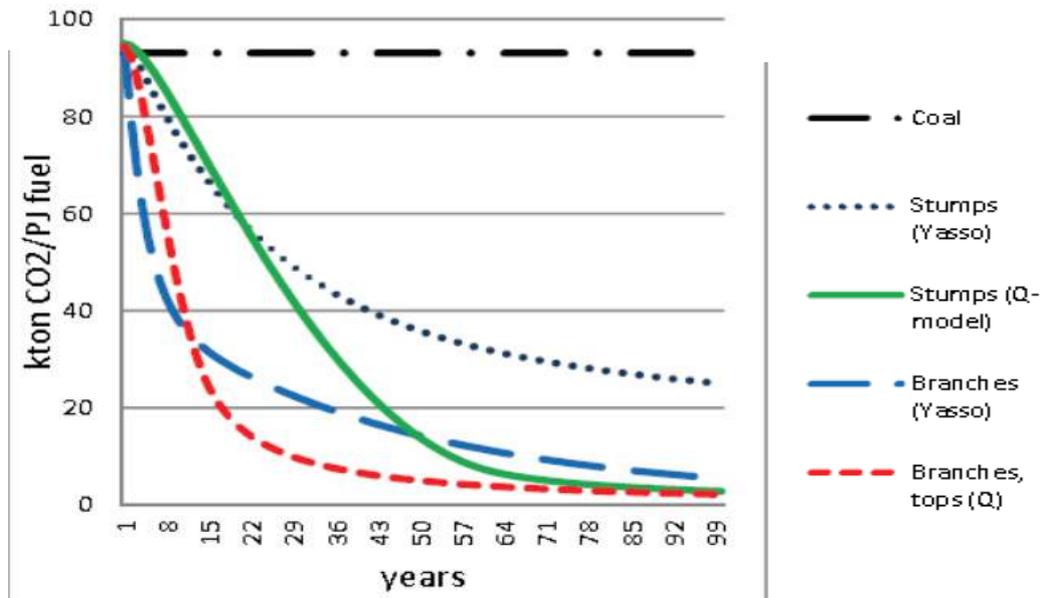


Abbildung 31: Netto-Emissionen für unterschiedliche Reststoffe im Zeitverlauf (ZETTERBERG 2011)

Coal = Kohle, Stumps = Stümpfe, Branches = Äste

Es ist zu erkennen, dass bei Ästen die Hälfte des emittierten Kohlendioxids innerhalb von sechs bis neun Jahren kompensiert wird, bei Stümpfen dauert dies in etwa 25 bis 30 Jahre. Emissionen von fossilen Rohstoffen (z.B. Kohle) werden hingegen nicht kompensiert. Dies führt laut ZETTERBERG (2012) zu Emissionsfaktoren für forstliche Reststoffe (Holzstümpfe und Äste) zwischen zwei und 25 g CO₂/MJ (Betrachtungszeitraum von 100 Jahren).

- **Modell zur Berechnung des Treibhausgaspotentials für unterschiedliche Holzarten**

In weiterer Folge wurde im Rahmen des Projekts ein eigenes Modell für die Klimawirksamkeit von unterschiedlichen Holzarten bei einer sofortigen thermischen Nutzung, basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen in 6.2.1, erstellt. In diesem Modell werden drei verschiedene Arten von Holzbiomasse betrachtet, die sich vor allem hinsichtlich der Umtriebszeit voneinander unterscheiden.

- Buche: Umtriebszeit von ungefähr 100-120 Jahren
- Fichte: Umtriebszeit von ungefähr 80-100 Jahren
- Energieholz: Umtriebszeit von ungefähr 8-12 Jahren

Bei einer angenommenen Entnahme von rund 80 % des gesamten Baumes, wird eine vollständige Emissionsfreisetzung durch die Verbrennung der Biomasse zum Zeitpunkt Null bilanziert, die anschließend durch das Nachwachsen des Waldes (Annahme einer nachhaltigen Forstwirtschaft) über die Berücksichtigung einer zeitdynamischen Entwicklung reduziert wird. Aus Abbildung 32 ist zu sehen, dass die Aufnahme des freigesetzten Kohlendioxids für diese drei Varianten ein sehr heterogenes Muster ergibt. Für das Energieholz sind bereits nach etwa ein bis zwei Jahren nur mehr die Hälfte der freigesetzten Emissionen in der Atmosphäre zu finden und ab ungefähr 4 bis 5 Jahren setzt eine Netto-

CO₂-Senke ein, die sich allerdings durch die biologische Zersetzung des nachgewachsenen Baumes dauerhaft um die Nulllinie einpendelt. Eine Verbrennung von Buchen- bzw. Fichtenholz zeigt ein ganz anderes Bild, indem erst nach 13 bis 17 Jahren die Hälfte der Emissionen aus der Atmosphäre wieder aufgenommen werden können. Dauerhaft stellt sich für diese beiden Holzarten auch keine kurzzeitige Netto-Senke für Kohlendioxid ein.

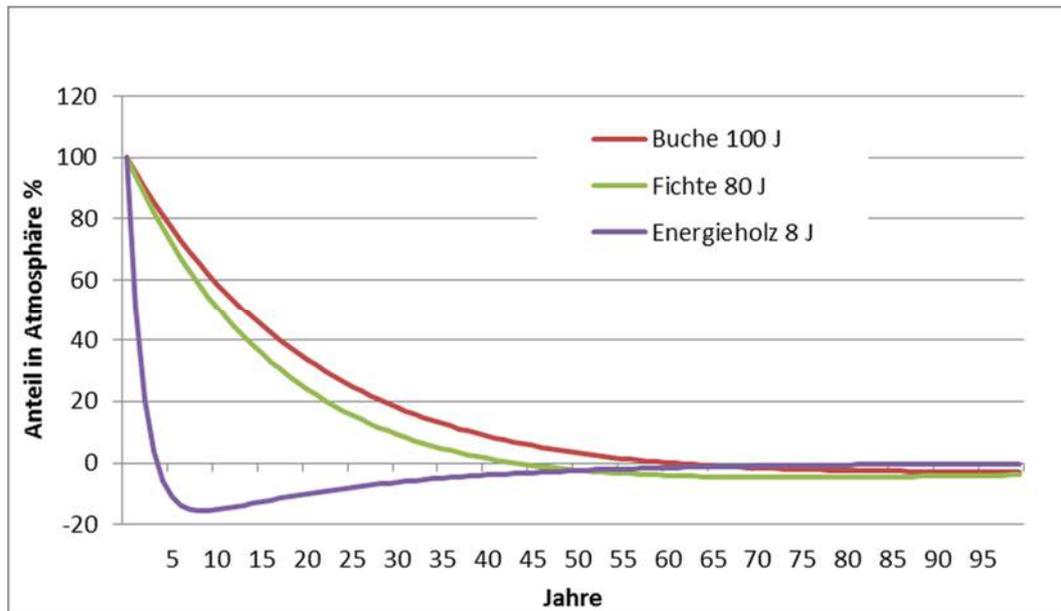


Abbildung 32: Atmosphärenverbleib bei unterschiedlicher Umtriebszeit (Eigene Darstellung)

Insgesamt können aus der möglichen Einbeziehung einer zeitdynamischen Entwicklung für eine treibhausgasbezogene Bilanzierung einer vorrangigen thermischen Verwertung von Holzbiomasse folgende Auswirkungen erwartet werden:

- Die Verbrennung von Holzbiomasse ist nicht mehr per-se CO₂-neutral
- Das Ausmaß einer möglichen CO₂-Neutralität ist eine Funktion der Nachwuchszeit
- Der sich ergebende Emissionsfaktor der Holzverbrennung ist umso niedriger, je kürzer die Umtriebszeit (Nachwuchszeit) ist
- Dies führt zur Bevorzugung von schnelllebigen Holzarten wie etwa Energiehölzern für die Verbrennung
- Sowie der Forcierung von holzartigen Reststoffen wie Ästen
- Aus Klimasicht ergäben sich Nachteile für langlebige und langsam wachsende Holzarten (z.B. Buche)

7.2 Auswirkungen auf die stoffliche Holznutzung

Neben einer sofortigen thermischen Verwertung kann Holzbiomasse erst stofflich und nachfolgend nach der Nutzung einer thermischen Verwertung zugeführt werden (Kaskadennutzung). Für diese Nutzungsart wird angenommen, dass der im geernteten Holz gebundene Kohlenstoff ebenfalls in den Produkten über deren Nutzungsdauer gespeichert ist. Wie GUEST et al. (2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b) beschreiben, wird ab dem Einschlag (und mit Beginn der stofflichen Nutzung des Holzes) eine Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre durch das Nachwachsen des Waldes noch vor der Emissionsfreisetzung bei der thermischen Verwertung bewirkt. Abbildung 33 stellt dies grafisch dar, indem die y-Achse für positive Werte einen negativen Klimabeitrag (Treibhausgaspotential = Global Warming Potential – GWP) und für negative Werte einen positiven Beitrag ausweist. Auf der x-Achse ist die Zeit der Speicherung (= Nutzungsdauer der Produkte) aufgetragen. Für die Umtriebszeit von 100 Jahren ergibt sich beispielsweise ab dem Jahr 50 ein Treibhausgaspotential von Null. Dasselbe Bild ist auch für die übrigen Szenarien zu erkennen, generell wird jeweils nach ungefähr der Hälfte der Umtriebszeit Klimaneutralität erreicht (GUEST et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b). Darüber hinaus kann sich bei darüber hinaus gehender, längerer Lebensdauer der Produkte mit der Zeit eine deutliche Senke für Kohlendioxid ergeben.

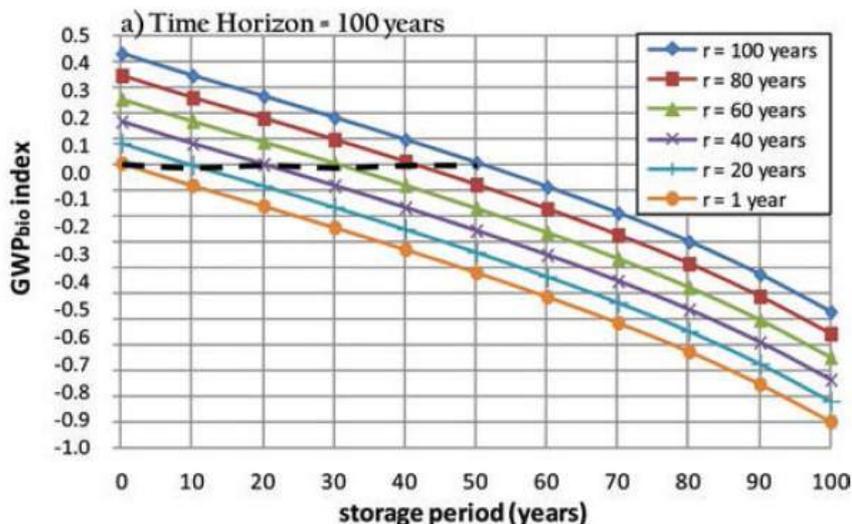


Abbildung 33: Klimarelevanz der Verbrennung von Holzprodukten nach der Nutzungszeit für unterschiedliche Umtriebszeiten in Form eines GWP-Index (0 = CO₂-Neutralität, positiv = Emission, negativ = Senke) (GUEST et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)

Im Vergleich zu fossilen Rohstoffen und zur direkten Verbrennung von Biomasse könnte die vorangehende stoffliche Nutzung biogener Rohstoffe mit diesen neuen Ansätzen somit erhebliche Vorteile erhalten. Je kürzer die Nutzungsdauer, desto höher ist das Treibhausgaspotential der jeweiligen Produkte. Vor allem langlebige Produkte könnten demnach forciert werden, um einen langfristigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

7.3 Auswirkungen auf Bauprodukte

Speziell die Baubranche ist vom Konkurrenzkampf von Holz- und Massivbaustoffen geprägt. In Zeiten des Klimawandels bekommen Aspekte der Klimabelastung von Produkten immer größere Bedeutung. Eine mögliche Veränderung in der Bilanzierungsmethodik der Klimabelastungen der Nutzung von Holzbiomasse könnte damit die Marktverhältnisse im Baubereich beeinflussen. Wie in Kapitel 7.2 erläutert, würden diese neuen wissenschaftlichen Ansätze der IEA Bioenergy Task 38 eine CO₂-Neutralität für Holzprodukte erst ab einer Nutzungsdauer von zumindest der halben Umtriebszeit der jeweiligen Baumart mit sich bringen. Kurzlebigere Produkte könnten nach diesem Ansatz eine Netto-Quelle für Kohlendioxid zugewiesen bekommen.

Im Bereich der mineralverarbeitenden Industrie wären beispielsweise die Ziegel- und Zementprodukte durch den Einsatz biogener Materialien beim Brennprozess betroffen. Neben dem Einsatz fossiler Energieträger werden auch biogene Ersatzbrennstoffe oder Porosierungsmittel wie z.B. Sägespäne oder Zusatzstoffe wie Papierfasern eingesetzt. Damit würde eine Veränderung der Bewertungsmethodik der Verbrennung von Biomasse für diesen Industriebereich ebenfalls Auswirkungen haben. Wie in Kapitel 7.1 dargestellt, könnte eine mögliche Implementation aktueller wissenschaftlicher Ansätze für die Klimabewertung von Biomassensystemen, vor allem für die sofortige thermische Verwertung der Biomasse Veränderungen hervorrufen, indem eine „per se Neutralität“ für die Biomasseverbrennung wegfallen würde. Damit würde die Art des Holzes und dessen Umtriebszeit in den Vordergrund gestellt werden. Am klimaschonendsten wäre es demnach vor allem kurzlebige Pflanzen wie auch Energieholz einer unmittelbaren thermischen Verwertung zuzuführen.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ziel dieser Studie war die Analyse der derzeitigen Bewertung der Klimarelevanz von Holz- und Massivbaustoffen sowie die Betrachtung und kritische Untersuchung neuer wissenschaftlicher Ansätze zur CO₂-Bilanzierung von Biomasse. Die Analyse der für die Ermittlung der klimarelevanten Belastungen verwendeten Methoden zeigt, dass Produkte aus Holzbiomasse hinsichtlich Klimarelevanz zurzeit günstige Ergebnisse liefern, da ihre Aufnahme und Speicherung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre abgebildet wird. Dadurch wird diese Menge an Kohlendioxid während der Nutzungsdauer der Atmosphäre entzogen und im Produkt gespeichert. Nach der Nutzung wird in etwa dieselbe Menge an Kohlendioxid wieder an die Atmosphäre abgegeben, wodurch sich eine CO₂-Neutralität für die Verbrennung von Biomasse ergibt. In den vorhandenen methodischen Ansätzen auf nationaler, betrieblicher und Produktebene ist ein ähnliches Bild zu erkennen, obwohl nur auf betrieblicher Ebene in der Regel von einer per-se CO₂-Neutralität von Biomasse ausgegangen wird. Bei Lebenszyklusbewertungen auf Produktebene erfolgt eine Vollbilanzierung nach obigem Schema, aus der sich in der Regel Neutralität ergibt, meist mit einer zusätzlichen Gutschrift für den Ersatz fossiler Energieformen bei thermischer Verwertung. Auf nationaler Ebene wird die Verbrennung CO₂-neutral betrachtet, da bereits die Holzentnahme im Wald als CO₂-Freisetzung gerechnet wird und es sonst zu einer Doppelzählung kommen würde.

Die exemplarischen Beispiele von lebenszyklusbasierten Produktbewertungen anhand von unterschiedlichen Umweltproduktdeklarationen (EPD) zeigen, dass Produkte aus Holzbiomasse (wie etwa Brettschichtholz) eine vergleichsweise geringe Klimabelastung, in vielen EPD sogar ein negatives Treibhausgaspotential aufweisen. Bei EPD wird bei Holzprodukten das im Holz gebundene CO₂ als negative Emission gerechnet, die dann am Ende des Lebenszyklus durch die Emission bei der energetischen Verwertung wieder ausgeglichen wird. Für den dabei erzielten Energiegewinn wird eine Gutschrift für die Substitution von fossiler Energie gerechnet, die in Modul D getrennt angegeben werden sollte. Wenn diese Gutschrift aber in die Bilanz eingerechnet wird, ergeben sich häufig negative Gesamtwerte der Treibhausgasemission.

Bei mineralischen Produkten dominiert in der Regel die Emissionsfreisetzung während des Produktionsprozesses, die durch den Einsatz von biogenen Ersatzbrennstoffen aufgrund deren rechnerischer Neutralität verringert wird. Der Einsatz von fossilen Ersatzbrennstoffen hat hier weniger Emissions-Reduktionspotential. Mögliche Gutschriften können bei Substitution fossiler Energie durch die thermische Verwertung von biogenen Begleitstoffen angerechnet werden. Weiters kann beim Einsatz von mineralischen Abfällen im Baubereich die benötigte Menge an Frischmaterial verringert werden, wobei dann die hinter der Bereitstellung des eingesparten Frischmaterials stehenden Klimabelastungen ebenfalls gutgeschrieben werden können.

Von ihrer Bedeutung für das Ergebnis von EPD ist die Frage der Berechtigung von Gutschriften durch Substitutionseffekte hinzuweisen. Sie werden bei thermischer Verwertung derzeit mit dem aktuellen Energiemix berechnet, obwohl die tatsächliche Verbrennung erst in einigen Jahren (je nach Produkt) stattfindet und sich der Energiemix aufgrund energie- und klimapolitischer Vorgaben in naher Zukunft deutlich in Richtung

erneuerbarer Energieträger verändern muss. Diese Entwicklungen könnten zu einer Verringerung von Gutschriften für die Verwertung brennbarer Stoffe führen. Durch die derzeit noch fossile Ausrichtung der Energieversorgung erhalten die thermischen Verwertungen bei den Gutschriften Vorteile, während die Eigenschaft des Materialerhalts bei langlebigen Massivbaustoffen nicht entsprechend honoriert wird. Da generell mit einer Abkehr von kurzlebigen Produkten hin zu dauerhaften, langlebigen Gütern zu rechnen ist, wird zukünftig langer Lebensdauer und dem Materialrecycling, unter Berücksichtigung der entsprechenden Eignung von Rezyklaten, erhöhte Bedeutung zukommen. Anzumerken ist weiters, dass sowohl CO₂-Neutralität als auch in Umweltproduktdeklarationen (EPD) verwendete CO₂-Senkenwirkungen (durch im Holz gebundenen und zu CO₂ umgewandelten Kohlenstoff) für Biomasse nur berechtigt sind, wenn das verwendete Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung stammt. Ist die Herkunft aus nachhaltiger Bewirtschaftung hingegen nicht gewährleistet, dürfte der im Holz gebundene Kohlenstoff nicht als negative Emissionen in die Bilanzierung aufgenommen werden, was die gesamte CO₂-Bilanz erheblich verändern würde.

Um eine transparente und exakte Bilanzierung für Holzbaustoffe durchführen zu können, müsste die Herkunft und speziell die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungsform des verwendeten Holzes untersucht und geprüft werden. Dies betrifft vor allem importierte Holz mengen, die im Inland weiterverarbeitet werden. Generell werden derzeit die Mengen an importierten und exportierten Ressourcen in nationalen Klimabilanzen (nach UNFCCC) nicht berücksichtigt, da nur die Produktion innerhalb nationaler Grenzen betrachtet wird. Da dadurch Auslagerungen von Produktionen positive Effekte haben, die eigentlich zu einer Erhöhung der Belastungen führen (Carbon Leakage) wäre es notwendig, zusätzlich zur nationalen Bilanz auch die Importe von Rohstoffen und Produkten in die Treibhausgasinventur einzubeziehen (konsumorientierte Ansätze). Dabei wäre auch eine detaillierte Analyse und Untersuchung der importierten Holz mengen hinsichtlich deren Herkunftsländer sowie Bewirtschaftungsformen durchzuführen und vorhandene Systeme der Holzzertifizierung hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft in die Bilanzierung einbeziehen. Derartige methodische Untersuchungen wurden bereits in einigen Ländern vorwiegend basierend auf ökonomischen Modellen durchgeführt, in Österreich läuft derzeit das Projekt „climAconsum“ im Rahmen des 7. ACRP des Klimafonds, das mit ähnlicher Zielsetzung einen technologiebezogenen Ansatz bearbeitet, bei dem die Produktströme konkret betrachtet werden.

Die vollständige Betrachtung des Lebenszyklus (Cradle to grave), wie sie bei LCA und in EPD durchgeführt wird, ist die umfassendste und korrekteste Bilanz in der Bewertung von Produkten. Allerdings ist speziell bei Zwischenprodukten das Wissen über die Nutzungsphase und vor allem die Entsorgungsphase oft unvollständig. Ungeachtet der derzeitigen Bevorzugung von Gesamtbilanzen für EPD liegen daher häufig Teilbilanzen vor (cradle to gate), die nur die Produktionsphase, nicht aber Nutzung und Entsorgung betrachten. Während bei Massivbaustoffen damit die wesentlichen Belastungsbereiche umfasst sind, verbleibt bei Holzprodukten durch das Fehlen der Freisetzung des Kohlenstoffs nur der anfänglich negativ gerechnete Wert. Auf dieser Ebene ist durch die unterschiedlichen Bilanzgrenzen daher kein Vergleich von Baustoffen möglich. Solche Vergleiche sollten grundsätzlich nicht über EPD erfolgen, sondern nur auf der Ebene der Bauwerke durchgeführt werden.

Die Einbeziehung neuer Methoden zur CO₂-Bilanzierung wie die Betrachtung der Emissionen erst ab dem Holzeinschlag, würde deutliche Veränderungen hinsichtlich der CO₂-Neutralität der Biomasse ergeben. Die per-se Neutralität würde sich in Richtung einer zeitabhängigen Neutralität verändern. Damit würde Neutralität umso schneller erreicht, je rascher der gefällte Baum (in einer nachhaltigen Forstwirtschaft) nachwächst. Dies brächte Vorteile für rasch wachsende Holzarten bis hin zum Energieholz gegenüber langsam wachsenden Holzarten wie Buche.

Andererseits würde eine stoffliche Nutzung vor der Verbrennung im Sinne einer Kaskadennutzung zu einer Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre durch den nachwachsenden Baum bereits vor der CO₂ Freisetzung aus dem Holz führen. Dies ergäbe ab einer Nutzungsdauer von etwa der halben Nachwuchszeit bereits CO₂ Neutralität der nachfolgenden Verbrennung. Dass es bei längerer Nutzungsdauer dann zu Senkeneffekten kommen muss ist absehbar, wird in Arbeiten bis jetzt aber noch nicht quantifiziert. Im Sinne dieser Betrachtung wäre Neutralität für die thermische Nutzung von Sägenebenprodukten nicht mehr gegeben, wenn diese in unmittelbarer Folge der Holzentnahme erfolgt. Für Holzreststoffe, die im Zuge einer stofflichen Nutzung anfallen, könnte nach dem beschriebenen Ansatz eine entsprechend bessere Klimabewertung gelten, da zum Zeitpunkt einer thermischen Verwertung (bei einer nachhaltigen Forstwirtschaft) bereits Wald nachgewachsen ist. Konkrete Schritte für die Umsetzung der oben angeführten aktuellen wissenschaftlichen methodischen Ansätze sind bis jetzt noch nicht absehbar. Nach Ansicht von ExpertInnen könnte sie in analoger Form mit, bei Biotreibstoffen bereits vorgeschlagenen, CO₂-Emissionsfaktoren für biogene Energieträger erfolgen. Damit würde die Kaskadennutzung von Holz gegenüber der direkten Verbrennung von Biomasse sowie die langlebigen Holzprodukte Vorteile erhalten, die Bewertung der Klimarelevanz des Werkstoffs Holz insgesamt könnte sich aber in geringem Ausmaß verschlechtern.

Neben den beschriebenen zeitdynamischen Aspekten werden aktuell noch weitere Themen auf wissenschaftlicher Ebene für eine mögliche Einbeziehung in die Klimabewertung von Biomasse diskutiert. Dabei handelt es sich einerseits um die Untersuchung und Berechnung von Klimaeffekten aus Landnutzungsänderungen bei der Nutzung forstwirtschaftlicher Flächen. Andererseits werden Albedo-Effekte (= Rückstrahlvermögen) ebenfalls immer bedeutender, die beispielsweise bei Aufforstungen durch das Waldwachstum zu erhöhter Strahlungs-Absorption und damit zur Verstärkung der Klimaerwärmung führen können. Neben der Berücksichtigung von Effekten von Albedo und Landnutzungsänderungen sind Bewertungen der Wassernutzung bei der Herstellung von Produkten ebenfalls von großer Aktualität. Diese sind bis dato allerdings noch nicht einheitlich verfügbar, eine Einbeziehung der Evapotranspiration nach dem Ansatz des Water-Footprint Network (WFM) würde jedoch eine deutliche Zusatzbelastung für biogene Materialien ausweisen und eine Verschiebung der Belastungen von der Produktion zum Forst bewirken.

Ein weiteres aktuelles Forschungsprojekt des Forschungsvereins Steine und Keramik wird derzeit unter dem Titel „Ökoindikatoren-Bau“ durch das Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der Technischen Universität Graz durchgeführt und beschäftigt sich mit der Einbeziehung zusätzlicher Indikatoren für die umweltrelevante Bewertung von Produkten in EPD.

9 Literaturverzeichnis

- ARNOLD K., VON GEIBLER J., BIENGE K., STACHURA C., BORBONUS S. UND KRISTOF K. 2009. Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- BERGER, M. and FINKBEINER, M. 2012: Methodological Challenges in Volumetric and Impact-Oriented Water Footprints. *Journal of Industrial Ecology* 2012, 17, 1: 79-89.
- BHATIA P., CUMMIS C., BROWN A., DRAUCKER L., RICH D. UND LAHD H. 2011a Greenhouse Gas Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Washington and Geneva: World Resources Institute und World Business Council of Sustainable Development.
- BHATIA P., CUMMIS C., BROWN A., RICH D., DRAUCKER L. AND LAHD H. 2011b. Greenhouse Gas Protocol – Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Washington and Geneva: World Resources Institute und World Business Council of Sustainable Development.
- BIRD D.N., CHERUBINI F., COWIE A., DOWNING M., GUSTAVSSON L., KOJAKOVIC A., JUNGMEIER G., MÖLLERSTEN K., PINGOUD K., RÜTER S., SCHLAMADINGER B., SOIMAKALLIO S., VAN STAPPEN F. AND WOESS-GALLASCH S. 2009. IEA Bioenergy Task 38 – Ten years of analyzing the Greenhouse Gas balances of bioenergy systems. Graz, Austria; New South Wales, Australia; Oak Ridge, United States; Östersund, Sweden; Savska, Croatia; Eskilstuna, Sweden; Espoo, Finland; Hamburg, Germany and Gembloux, Belgium: Joanneum Research; NSW Department of Primary Industries; Oak Ridge National Laboratory; Department of Engineering and Sustainable Development, Mid Sweden University; Energy Institute Hrvoje Pozar; Swedish Energy Agency; VTT Technical Research Centre of Finland; Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute for Wood Technology and Wood Biology.
- BIRD D.N., COWIE A., FRIEDEN D., GUSTAVSSON L., PENA N., PINGOUD K., RÜTER S., SATHRE R., SOIMAKALLIO S., TUREK A., WOESS-GALLASCH S. AND ZANCHI G. 2010. Emissions from Bioenergy: Improved accounting options and new policy needs. Graz, Austria; New South Wales, Australia; Östersund, Sweden; Espoo, Finland and Hamburg, Germany: Joanneum Research; National Centre for Rural Greenhouse Gas Research, Mid Sweden University; VTT Technical Research Centre of Finland and Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute for Wood Technology.
- BIRD D.N., COWIE A., CHERUBINI F. AND JUNGMEIER G. 2011. Using a Life Cycle Assessment Approach to estimate the net Greenhouse Gas Emissions of Bioenergy. Vienna; Australia and Norway: Joanneum Research; National Centre for Rural Greenhouse Gas Research and Norwegian University of Science and Technology.
- BRAUN M. 2010. Internationaler Klimaschutz – Wie wird der Sektor Landnutzung berücksichtigt? Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Vortrag vom 28. September 2010.

BRAUN M. 2012. Internationaler Klimaschutz – Wie wird der Sektor Landnutzung berücksichtigt? Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Vortrag vom 11. September 2012.

BRITISH STANDARD INSTITUTION 2008. PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. United Kingdom: British Standard Institution.

BROWN S., LIM B. AND SCHLAMADINGER B. 1998. Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories. Senegal: 5-7 May 1998.

BMUNR UND BMELV 2010. Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Berlin: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

BMLFUW 2011a. Regierungsvorlage: Bundesgesetz über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (Emissionszertifikatengesetz 2011 – EZG 2011). In: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 118. Bundesgesetz.

BMLFUW 2011b. EU-Emissionshandel – Umsetzung in Österreich. Verfügbar in: <http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/eu-emissionshandel/ezg-2011.html> [Abfrage am: 16.05.2014].

CEN/TC 175 2013. FprEN 16485. Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen. Deutsche Fassung. Brüssel: CEN-CENELEC Management-Zentrum.

CHERUBINI, F. et al. 2011. CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *GCB Bioenergy*, 3(5): p. 413-426., zitiert nach: CHERUBINI F., BRIGHT R.M., GUEST G. UND STROMMAN A.H. 2012b. Climate impact of forest bioenergy: contributions from biogenic CO₂ and albedo. Trondheim: Department of Energy and Process Engineering, Norwegian Institute of Science and Technology (NTNU).

CHERUBINI F., BRIGHT R.M., GUEST G. AND STROMMAN A.H. 2012. GWPs of biogenic CO₂ from bioenergy: contributions from timing of CO₂ fluxes and albedo. Trondheim: Department of Energy and Process Engineering, Norwegian Institute of Science and Technology (NTNU).

ENGELSON C. J. AND JUSTNES H. 2014. CO₂-binding by concrete – Summary of the state of the art and an assessment of the total binding of CO₂ by carbonation in the Norwegian concrete stock. In: SINTEF Building and Infrastructure.

FALLMANN H. 2009. EU-Klimapolitik und ihr Kernelement ETS. Wien: Umweltbundesamt.

FRIEDEN D., PENA N. AND BIRD D.N. 2012. Incentives for the use of forest biomass: a comparative analysis of Kyoto Protocol accounting pre- and post-2012. Graz, Austria: Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH.

GARCIA R. AND FREIRE F. 2013. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. Coimbra, Portugal: Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE 2013. G4: Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung – Berichterstattungsgrundsätze und Standardangaben. Amsterdam: Global Reporting Initiative.

GRIMM V., BRAUN M., TEICHERT O. UND ZWECK A. 2011. Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie. Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.

GUEST, G., CHERUBINI F. AND STROMMAN A.H. 2012. Global Warming Potential of Carbon Dioxide Emissions from Biomass Stored in the Anthroposphere and Used for Bioenergy at End of Life. *Journal of Industrial Ecology*, 2012: p. no-no, zitiert nach: CHERUBINI F., BRIGHT R.M., GUEST G. AND STROMANN A.H. 2012b. Climate impact of forest bioenergy: contributions from biogenic CO₂ and albedo. Trondheim: Department of Energy and Process Engineering, Norwegian Institute of Science and Technology (NTNU).

HOEKSTRA, A.Y. and HUNG, P.Q. 2002. Virtual water trade, A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series No. 11*, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. Water Footprint Network. Enschede, The Netherlands

HOTTENROTH H., JOA B. UND SCHMIDT M. 2013. *Carbon Footprints für Produkte – Handbuch für die betriebliche Praxis kleiner und mittlerer Unternehmen*. Hochschule Pforzheim, Institute for Industrial Ecology.

IBU 2010. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Brettschichtholz (BS-Holz)*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2011. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – MEIER Öko-Kalksteine – Meier Betonwerke GmbH*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2012a. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Lärmschutzelemente – Bundesverband Leichtbeton e.V.*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2012b. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Kreuzlagenholz (KLH) Massivholzplatten – KLH Massivholz GmbH*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2013a. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Mitteldichte Faserplatte (MDF) – Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2013b. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Laminart-Fußbodenbeläge – Parador GmbH & Co. KG*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2013c. *Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30 – InformationsZentrum Beton GmbH*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU 2014. Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 – Ziegel – Wienerberger AS. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IEA BIOENERGY TASK 38 2013. Task 38 - Climate Change Effects of Biomass and Bioenergy Systems. Australia: IEA Bioenergy Task 38.

ISO/TC 207/SC 1 2005. DIN EN ISO 14001. Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2004). Brüssel: CEN – Europäisches Komitee für Normung.

ISO/TC 207/SC 3 2006a. ISO 14025. Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO/TC 207/SC 5 2006b. ISO 14044. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO/TC 207/SC 7 2012. ISO 14067: Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. Geneva: International Organization for Standardization.

IPCCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Harvested Wood Products [PINGOUD K., SKOG E., MARTINO D.L., TONOSAKI M., XIAOQUAN Z. AND FORD-ROBERTSON J].

IPCC 2007. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: Klimaänderung 2007 - Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC) [SOLOMON S. D., QIN M., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B., TIGNOR M. AND MILLER H.L.]: Cambridge University Press und New York. Bern, Wien, Berlin: Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle.

IPCC 2013. Summary for Policymakers: Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER T.F., QIN D., PLATTNER G.-K., TIGNOR M., ALLEN S.K., BOSCHUNG J., NAUELS A., XIA Y., BEX V. AND MIDGLEY P.M.]: Cambridge University Press and New York.

JENNINGS D., ANDERL M., BEDNAR W., GÖSSL M., HAIDER S., HELLER C., JOBSTMANN H., KÖTHER T., LAMPERT C., PAZDERNIK K., POUPA S., RIGLER E., SCHIEDER W., SCHINDLBACHER S., SCHMID C., SCHNEIDER J., SCHMID-RUZICKA S., SEUSS K., STRANNER G., STORCH A., WEISS P., WIESENBERGER H., WINTER R., ZECHMEISTER A. UND ZETHNER G. 2013. Klimaschutzbericht 2013. Wien: Umweltbundesamt GmbH.

LECHNER H., JAUSCHNEGG H., HASENAUER H., BRAWENZ C., MONTECUCCOLI F., HÖBARTH M., HÖBAUS E., WOLF M., LINDNER R. UND GRONAUER A. 2012. Energie aus der Region – zukunftsfähig und nachhaltig. Wien: Österreichischer Biomasse-Verband.

MATTHEWS R. AND ROBERTSON K. 2005. Answers to ten frequently asked questions about bioenergy, carbon sinks and their role in global climate change. IEA Bioenergy Task 38 „Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems“.

N.N. s.a. Submission on reference level. Submission of BMLFUW structured in accordance with Annex II of the draft decision on LULUCF (Graue Literatur).

PAZDERNIK K., ANDERL M., FREUDENSCHUß A., FRIEDRICH A., HAIDER S., JOBSTMANN H., KÖTHER T., KRIECH M., KUSCHEL V., LAMPERT C., POUPA S., PURZNER M., SCHODL B., SPORER M., STRANNER G., SCHWAIGER E., SEUSS K., WEISS P., WIESER M., ZECHMEISTER A. AND ZETHNER G. 2012. Austria's National Inventory Report 2012 - Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Vienna: Umweltbundesamt GmbH.

PAZDERNIK K., ANDERL M., FREUDENSCHUß A., FRIEDRICH A., HAIDER S., JOBSTMANN H., KÖTHER T., KRIECH M., LAMPERT C., POUPA S., SCHINDLBACHER S., STRANNER G., SCHWAIGER E., SEUSS K., WEISS P., WIESER M., ZECHMEISTER A. AND ZETHNER G. 2013. Austria's National Inventory Report 2013 - Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Vienna: Umweltbundesamt GmbH.

PAZDERNIK K., ANDERL M., FREUDENSCHUß A., HAIDER S., JOBSTMANN H., KOHLBACH M., KÖTHER T., KRIECH M., LAMPERT C., MOOSMANN L., PINTERITS M., POUPA S., SCHMID C., STRANNER G., SCHWAIGER E., SCHWARZL B., WEISS P. AND ZECHMEISTER A. 2014. Austria's National Inventory Report 2014 – Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Vienna: Umweltbundesamt GmbH.

PERL D., SEUSS K., BÖHMER S., CLARA M., DÖBERL G., FRISCHENSCHLAGER H., KRUTZLER T., KÖTHER T., LENZ K., MOSER G., MUIK B., NEUBAUER C., PAZDERNIK K., POUPA S., SCHACHERMAYER E., SCHINDLER I., TESAR M., WAPPEL D., WINDHOFER G., WINTER B. UND ZETHNER G. 2010. Leitfaden für die Durchführung der PRTR-Berichtspflicht. Wien: Umweltbundesamt GmbH.

PISTORIUS T. 2007. Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten – Wie Wirtschaftswald und nachhaltige Forstwirtschaft in Baden-Württemberg zum Klimaschutz beitragen. Freiburg: FVA Baden-Württemberg.

RANGANATHAN J., CORBIER L., BHATIA P., SCHMITZ S., GAGE P. AND OREN K. 2004. The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard. USA: World Resources Institute und World Business Council for Sustainable Development.

RÜTER S. 2012. Umwelt-Produktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804. Hamburg: Thünen-Institut für Holztechnologie und Holzbiologie.

SCHIMA J. UND BRAUN M. 2012. Klimapolitik aus forst-, holz-, und umweltpolitischer Sicht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

STERN T. KRAUS C., HUBER W. und SCHWARZBAUER P. 2009. Grundlagen für den Entscheidungsprozess und das Reporting von Harvested Wood Products (HWP) – Bereitstellung und Bewertung von Informationsgrundlagen für den Entscheidungsprozess und das Reporting von HWP.

TAVERNA R., HOFER P., WERNER F., KAUFMANN E. und THÜRIG E. 2007. CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft - Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz. Umwelt-Wissen Nr. 0739. Bern: Bundesamt für Umwelt.

TÜV RHEINLAND GROUP 2008. Aus Verantwortung. Für Wachstum. Umweltmanagement nach ISO 14001 und EMAS. Köln: TÜV Rheinland Group.

VAN DAM J., FAAIJ, A., DAUGHERTY, E., GUSTAVSSON, L., ELSAYED, M.A., HOME, R.E., MATTHEWS, R., MORTIMER, N.D., SCHLAMADINGER, B., SOIMAKALLIO, S. und VIKMAN, P. 2004. Development of standard tool for evaluating Greenhouse Gas Balance and costeffectiveness of biomass energy technologies. Utrecht, Netherlands; Austria; Sweden; UK and Finland: Department of Science, Technology and Society, Copernicus Institute, Utrecht University; Institute of Energy Research at Joanneum Research; Department of Natural and Environmental Sciences, Mid Sweden University; Resources Research Unit, Sheffield Hallam University; Forest Research and VTT Processes at the Technical Research Centre.

WINDSPERGER A. 2013. IST-Situation, Trends und Maßnahmen der Industrie zur Emission von klimarelevanten und konventionellen Luftschadstoffen (NEC-Gasen) und Staub.

WOESS-GALLASCH S., BIRD D. N. und SCHWAIGER H. 2013. IEA Bioenergieprogramm 20120-2012 – Task 38: Treibhausgasbilanzen von Biomasse- und Bioenergiesystemen. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

ZETTERBERG L. 2011. Instruments for reaching Climate Objectives – Focusing on the Time Aspects of Bioenergy and Allocation Rules in the European Union’s Emissions Trading System. Sweden: University of Gothenburg.

ZETTERBERG L. 2012. The time aspect of bioenergy - Climate impacts of bioenergy due to how fast combustion related emissions are compensated by uptake of atmospheric CO₂. Vienna: IEA Bioenergy Task 38 Expert Working Meeting.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptantriebskräfte für die Verstärkung/Abschwächung des Klimawandels (IPCC 2007) SA= Strahlungsantrieb GDWV= Grad des wissenschaftlichen Verständnisses	4
Abbildung 2: Konzentration an CO ₂ in der Atmosphäre von 1950-2010 (IPCC 2013)	5
Abbildung 3: Anteil der Sektoren an den Treibhausgasemissionen in Österreich und deren zeitliche Entwicklung (JENNINGS et al. 2013)	6
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen des Sektors Industrie von 1990-2011 (PAZDERNIK et al. 2013).....	6
Abbildung 5: CO ₂ -Emission der mineralischen Industrie (PAZDERNIK et al. 2012) Prozesse...Emissionen aus Prozessen Steine & Erden...Emissionen aus dem Energieträgereinsatz der stein- und keramischen Industrie.....	8
Abbildung 6: Zementproduktion und THG-Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie (JENNINGS et al. 2013)	9
Abbildung 7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in der Zementindustrie (WINDSPERGER 2013)	10
Abbildung 8: Schema der CO ₂ -Neutralität von Biomasse (MATTHEWS und ROBERTSON 2005) ...	11
Abbildung 9: CO ₂ -Emissionen der holzverarbeitenden Industrie (Windspurger 2013).....	12
Abbildung 10: CO ₂ -Emissionen der Papierindustrie (Windspurger 2013)	13
Abbildung 11: Referenzwertansatz für die Einbeziehung der Waldbewirtschaftung (Artikel 3.4 Aktivitäten) (BRAUN 2010).....	19
Abbildung 12: Vergleich zwischen Referenzwert und tatsächlichem Waldbestand (FRIEDEN et al. 2012)	20
Abbildung 13: Grafische Darstellung des Production Approach (BROWN et al. 1998)	21
Abbildung 14: Bewertungsmodell für Harvested Wood Products (HWP) (Eigene Darstellung, nach IPCC 2006).....	22
Abbildung 15: Abbauraten für die drei HWP-Produktkategorien (Eigene Darstellung, nach IPCC 2006 und FRIEDEN et al. 2012).....	23
Abbildung 16: Prognose für die Entwicklung von HWP und die darin gebundene Menge an CO ₂ (Eigene Darstellung, nach N.N. s.a.)	23
Abbildung 17: Unterteilung des Lebenszyklus in Module (RÜTER 2012)	31
Abbildung 18: Zusammenfassung der Bilanzierung biogener Emissionen auf den unterschiedlichen Ebenen der Klimabewertung (Eigene Darstellung)	33
Abbildung 19: CO ₂ -Bilanz von 1m ³ Brettschichtholz aus nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)	35
Abbildung 20: Umwelt- und Klimabelastungen von Laminatböden nach den einzelnen Modulen (IBU 2013b)	37
Abbildung 21: Umwelt- und Klimaauswirkungen einer Ökobilanz für 1 Tonne Ziegel (IBU 2014).....	39
Abbildung 22: Relative Beiträge einzelner Verursacher innerhalb der Wirkungsklassen (IBU 2011).....	40
Abbildung 23: CO ₂ -Bilanz von 1m ³ Brettschichtholz aus nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft ohne Substitutionseffekte (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)	41
Abbildung 24: CO ₂ -Bilanz von 1m ³ Brettschichtholz aus nicht nachhaltig bewirtschafteter Forstwirtschaft ohne Substitutionseffekte (Eigene Darstellung, nach IBU 2010)	42

Abbildung 25: Treibhausgas-Bilanz eines biogenen und fossilen Systems (IEA BIOENERGY TASK 38 2013)	44
Abbildung 26: Bisherige Bewertung der Kohlenstoffbilanzierung (Eigene Darstellung, nach BIRD et al. 2010)	45
Abbildung 27: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine sofortige thermische Verwertung (Eigene Darstellung, nach CHERUBINI et al. 2012)	47
Abbildung 28: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine stoffliche Nutzung (Eigene Darstellung, Guest et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)	47
Abbildung 29: Neue wissenschaftliche Ansätze zur Kohlenstoffbilanzierung mit Berücksichtigung einer zeitlichen Betrachtung für eine Reststoffverwertung (ZETTERBERG 2012)	48
Abbildung 30: Zeitliche Entwicklung von CO ₂ -Fixierungsraten fossiler und biogener Quellen mit Betrachtung unterschiedlicher Umtriebszeiten (0 = CO ₂ -Neutralität, positiv = Emission, negativ = Senke) (CHERUBINI et al. 2011, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)	51
Abbildung 31: Netto-Emissionen für unterschiedliche Reststoffe im Zeitverlauf (ZETTERBERG 2011)	52
Abbildung 32: Atmosphärenverbleib bei unterschiedlicher Umtriebszeit (Eigene Darstellung)	53
Abbildung 33: Klimarelevanz der Verbrennung von Holzprodukten nach der Nutzungszeit für unterschiedliche Umtriebszeiten in Form eines GWP-Index (0 = CO ₂ -Neutralität, positiv = Emission, negativ = Senke) (GUEST et al. 2012, zit. nach CHERUBINI et al. 2012b)	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für Kreuzlagenholz (57 und 320mm) (IBU 2012b)	35
Tabelle 2: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1m ³ MDF (IBU 2013a)	36
Tabelle 3: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1 Tonne Lärmschutzelemente aus Leichtbeton (IBU 2012a)	38
Tabelle 4: Umwelt- und Klimabelastungen einer Ökobilanz für 1 m ³ Konstruktionsbeton C 25/30 (IBU 2013c)	38
Tabelle 5: Umwelt- und Klimabelastungen der Ökobilanz für 1 m ³ Öko-Kalkstein (IBU 2011)	40

Begriffsdefinitionen

Abbaurate	Abnahme eines Stoffs pro Zeiteinheit
Anthropogen	Terminus für das durch den Menschen entstandene, verursachte, hergestellte oder beeinflusste
Aufforstung	Anpflanzen von Bäumen oder die Aussaat von Samen mit dem Ziel einer Bewaldung, oft als Wiederherstellung einer früheren, durch Abholzung, Sturmschäden verschwundenen Bewaldung
Biomasse	Beinhaltet sämtliche Stoffe, die organischer Herkunft und nicht fossilen Ursprungs sind
Biomasseexpansionsfaktor	Schätzgrößen, um vom Volumen auf die Biomasse eines Bestands schließen zu können
Boden und Streu (Pool)	Über absterbende Biomasse wird dem Boden totes organisches Material, vor allem Streu, zugeführt und in unterschiedlichen Bindungsformen gespeichert
CO ₂ Äquivalent	Maßzahl für den relativen Effekt des Beitrags zum Treibhauseffekt, Maßeinheit für den Vergleich von Emissionen unterschiedlicher Treibhausgase auf der Basis des Strahlungsantriebs von Kohlendioxid
CO ₂ -Fixierung	Das aus der Luft aufgenommene CO ₂ wird in organische Verbindungen der Pflanze eingebaut
CO ₂ -Fußabdruck	Gesamte Kohlendioxidemissionen, die direkt und indirekt über die Lebensstadien eines Produkts entstehen
CO ₂ -Neutralität	Ohne Einfluss auf den CO ₂ -Gehalt der Atmosphäre
CO ₂ in ppm	Kohlendioxid in parts per million (0,0001 %)
Cradle to gate	Lebenswegphasen von der Rohstoffgewinnung bis zu dem Punkt, an dem das Produkt das bilanzierende Unternehmen verlässt (von der Wiege bis zum Werkstor)
Cradle to grave	Lebenswegphasen von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung des Produkts (von der Wiege bis zur Bahre)
Emissionsfaktor (Treibhausgas)	Menge an Treibhausgasen in CO ₂ -Äquivalenten pro Aktivitätseinheit (z.B. pro kg)
Emissionshandel	Ein Instrument der Umweltpolitik mit dem Ziel, Schadstoffemissionen zu verringern, Festlegung einer Obergrenze für CO ₂ -Emission innerhalb eines konkreten Gebiets und eines konkreten Zeitraums entsprechend dieser Obergrenze werden Umweltzertifikate ausgegeben, die zur Emission einer bestimmten Menge berechtigen, diese Zertifikate sind

	frei handelbar, der Preis für diese Zertifikate wird durch die Nachfrage bestimmt
Entnahme von Treibhausgasen	Absorption von Treibhausgasen aus der Atmosphäre (z.B. durch Photosynthese), der Entzug von Treibhausgasen führt zu einer so genannten Treibhausgasenke
Entwaldung	Umwandlung von Waldflächen hin zu anderen Landnutzungsformen
Erderwärmung	Anstieg der globalen Oberflächentemperatur der Erde
Festmeter	Raummaß für Rundholz, entspricht einem Kubikmeter (m ³) fester Holzmasse, d. h. ohne Zwischenräume in der Schichtung
Holzeinschlag	Fällung und anschließende Aufbereitung des gefällten Holzes
Input	Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der einem Prozessmodul zugeführt wird
Klimabewertungsverfahren	Methoden zur Bewertung der Klimarelevanz
Klimaschutz	Weltweite Bemühungen, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern, um den Klimawandel in den Griff zu bekommen.
Klimawandel	Veränderung von Klima auf der Erde
Kohlenstoffkreislauf	System der chemischen Umwandlungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen sowie deren Austausch
Kohlenstoffpool	Summe der Kohlenstoffsinken
(Kohlenstoff) Quelle	Prozesse, durch die Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre gelangen
(Kohlenstoff) Senke	Langfristige Speicherung von CO ₂ bzw. Kohlenstoff z.B. im Wald
Kohlenstoffspeicherung	Reservoir, das zeitweilig oder dauerhaft Kohlenstoff aufnimmt und speichert
Kyoto-Protokoll	Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen ist ein am 11. Dezember 1997 beschlossenes Protokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) mit dem Ziel des Klimaschutzes
Kyoto-Ziel	das Ziel aus dem Kyoto Protokoll, den jährlichen Treibhausgasausstoß der Industrieländer innerhalb der sogenannten ersten Verpflichtungsperiode (2008–2012) um durchschnittlich 5,2 % gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren
Landnutzungsänderung	Änderung der Landnutzung von einer Landnutzungskategorie zur anderen, die zu einer

Lebenszyklus	Veränderung der THG-Emissionen führt, da sich die im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge ändert Aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung
Molmasse	Der Wert einer chemischen Verbindung ergibt sich durch die Summe der mittleren Atommassen der an der Verbindung beteiligten chemischen Elemente von einem Mol-Teilchen bzw. von einem Mol der Strukturelemente der Verbindung
Nachhaltig bewirtschafteter Wald	Betreuung von Waldflächen und ihre Nutzung auf eine Weise und in einem Maß, dass sie ihre Produktivität (einschließlich ihrer Bodenertragskraft), ihre Verjüngungsfähigkeit und Vitalität behalten oder verbessern
Ökobilanz	Methode zur Erfassung und Beurteilung der potenziellen Umweltwirkungen innerhalb eines Produktsystems/während des Produktlebenswegs
Output	Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der von einem Prozessmodul abgegeben wird
Photosynthese	Die Erzeugung von energiereichen Stoffen aus energieärmeren Stoffen mit Hilfe von Lichtenergie, (von Pflanzen, Algen- und einigen Bakteriengruppen)
Produktkategorieregel	Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen und Richtlinien für die Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für eine oder mehr Produktkategorien
Produktivität	Maß für die Leistungsfähigkeit, bezeichnet das Verhältnis zwischen produzierten Gütern und den dafür benötigten Produktionsfaktoren
Produktportfolio	Darstellung von verschiedenen Produkten einer Organisation (z.B. Unternehmen)
Produktsystem	Zusammenstellung von Prozessmodulen mit Elementar- und Produktflüssen, die den Lebensweg eines Produktes modelliert und die eine oder mehrere festgelegte Funktionen erfüllt
Prozess	Ausdruck aus der Stoffflussanalyse, bezeichnet ein Bilanzvolumen, in welchem Stoffe oder Güter transportiert, transformiert oder gelagert werden oder ihren Wert ändern
Saldo (THG)	Die Differenz zwischen Emission und Entnahme von Treibhausgasen
Scope	Definiert Grenzen für die Einteilung von Treibhausgasemissionen

Strahlungsantrieb	Maß für den Einfluss, den ein Faktor auf die Änderung des Gleichgewichts von einfallender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre hat
Substitution (fossiler Energieträger)	Ersatz von fossilen Energieträgern durch Holz
Systemgrenze	Trennt das Produktsystem von seiner Systemumgebung und kann durch Abschneidekriterien festgelegt werden
Treibhausgasemission	Gesamte Masse eines Treibhausgases, die über einen festgelegten Zeitraum in die Atmosphäre freigesetzt wird
THG-Inventur	Erfassung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen
Totholz	Abgestorbene Bäume oder deren Teile
Treibhausgas	Gasförmige Bestandteile der Atmosphäre natürlichen und anthropogenen Ursprungs, die Strahlung bestimmter Wellenlängen innerhalb der von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und der Wolken emittierten Infrarotstrahlung absorbieren und emittieren
Treibhausgaspotential (=GWP)	Faktor, der den über einen gewählten Zeithorizont integrierten Strahlungsantrieb eines Treibhausgases im Vergleich zu demjenigen von Kohlendioxid, ausgedrückt in CO ₂ -Äquivalenten, angibt, Berücksichtigung der unterschiedlichen Verweilzeit und des unterschiedlichen Infrarot-Absorptionsvermögen der verschiedenen THG
Trockenmasse (TM)	Jener Bestandteil, der nach Abzug der Masse des enthaltenen Wassers übrig bleibt
Umtriebszeit	Zeitraum von der Entstehung eines Baumbestands aufgrund von Pflanzung oder natürlichem Anflug bis zur Endnutzung bzw. Verjüngung des Bestands.
Umweltmanagementsystem	Managementsystem einer Organisation, in dem die Zuständigkeiten, Verhaltensweisen, Abläufe und Vorgaben zur Umsetzung der betrieblichen Umweltpolitik der Organisation strukturiert festgelegt sind
UNFCCC	Erster im Jahr 1992 von 192 Staaten ausgehandelter Vertrag zu dem Thema Klimawandel
Wald	Wald muss eine Mindestfläche von 0,5 Hektar haben. Diese Fläche braucht nur zu einem Zehntel von Baumkronen überschirmt sein
Waldbewirtschaftung	Sinnvolle und wertschöpfende Nutzung des Waldes
Waldzuwachs	Jährliche, periodische, gesamte oder auch durchschnittliche Mehrung des Waldbestands

Zwischenprodukt

Ein zur Weiterverarbeitung bestimmtes Produkt, das als Input für die Produktion anderer Güter oder Dienstleistungen genutzt wird. Die endgültige Funktion des Produktes ist nicht zwangsläufig bekannt

Abkürzungsverzeichnis

BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft
BMUNR	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EPD	Environmental Product Declaration
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potential
HWP	Harvested Wood Products
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
kg	Kilogramm
LULUCF	Land use, land use change and forestry
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
N ₂ O	Lachgas
PAS	Publicly Available Specification
PKR	Produktkategorieregel
ppm	parts per million (0,0001 %)
THG	Treibhausgas
t	Tonne
TS	Technische Spezifikation
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WBCSD	World Business Council of Sustainable Development
WRI	World Resources Institute