



Machbarkeitsstudie

Auswirkung der Holzverwendung auf die nationale Treibhausgasbilanz und Anreize zu deren Steigerung

Autoren: Christoph Affentranger, Dipl. Arch. ETH/SIA, Zug
Beni Isenegger, im puls GmbH, Bern
Frank Werner, Dr. Werner Umwelt & Entwicklung, Zürich
Christoph Starck, Lignum, Zürich

Eine Studie mit Co-Finanzierung des
Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung
(Projekt Nr 2007.12)

Oktober 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Ausgangslage, Methodischer Ansatz und Durchführung	6
2.1	Ausgangslage.....	6
2.2	Methodischer Ansatz.....	7
2.3	Durchführung.....	8
3	Quantifizierung der Treibhauswirkung von Holzprodukten	9
3.1	Objektbezogene Quantifizierung nach Bauteilkatalog.....	9
3.1.1	<i>Grundlagen</i>	9
3.1.2	<i>Ergebnisse Einfamilienhaus</i>	13
3.1.3	<i>Ergebnisse Mehrfamilienhaus</i>	15
3.1.4	<i>Vergleich</i>	17
3.1.5	<i>Schlussfolgerungen</i>	18
3.2	Objektbezogene Quantifizierung über Default Faktoren	19
3.2.1	<i>Grundlagen</i>	19
3.2.2	<i>Ergebnisse</i>	19
3.2.3	<i>Anwendung der Default Faktoren auf die Mustergebäude</i>	22
3.2.4	<i>Schlussfolgerungen</i>	23
3.3	Bilanzierung nationaler Holzverwendungsszenarien	25
3.4	Verrechnung von Materialsubstitution und C-Speicherung	28
4	Monetarisierung	30
4.1	Monetarisierung der objektbezogenen Bilanzierung	30
4.2	Monetarisierung der Szenarienbetrachtung	31
5	Beschreibung verschiedener Inwertsetzungsansätze	34
5.1	CO ₂ -Zertifikate.....	34
5.1.1	<i>Baseline</i>	34
5.1.2	<i>Additionalität</i>	34
5.1.3	<i>Zertifikate: Objekt-bezogene Betrachtungsweise</i>	35
5.1.4	<i>Zertifikate: Nationale Betrachtungsweise</i>	38
5.2	Carbon Footprinting.....	40
5.3	Förderbeiträge.....	43
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	44
6.1	Grundzüge eines Mechanismus zur Vermarktung der Substitutionswirkung von Holzprodukten.....	44
6.2	Weiterentwicklung	45
6.3	Nutzen	46
7	Referenzen	47
A	Annex	48

1 Zusammenfassung

Dieses Projekt beschäftigt sich mit neuartigen Anreizen zur vermehrten Anwendung von Bauprodukten in Holz. Unser Ziel war es, das Reduktionspotential der Substitution von energieintensiven konventionellen Bauprodukten durch gleichwertige in Holz zu quantifizieren und daraus ein Modell zur Schaffung von Anreizen zu entwickeln.

Dazu wurden verschiedenen Quantifizierungsansätze für die Substitutionswirkung von Holzprodukten auf Gebäudeebene und in einer nationalen Betrachtungsweise durchgespielt und auf ihre Tauglichkeit innerhalb eines Systems zur Vermarktung der CO₂-Substitutionswirkung von Holzprodukten evaluiert.

Im Weiteren wurden verschiedene ökonomische und nicht-ökonomische Anreizsysteme evaluiert (darunter Klimazertifikate, Labels oder Förderbeiträge aus dem CO₂-Gesetz), in wie weit sie eingesetzt werden können, um die Substitutionswirkung von Holzprodukten für die Käufer und Verwender sichtbar zu machen und Anreize zum vermehrten Einsatz von Holzprodukten zu schaffen.

Folgende Schlussfolgerungen können aus dieser Machbarkeitsstudie gezogen werden:

- Eine Zertifikatelösung scheint grundsätzlich ein vielversprechender Ansatz für die Vermarktung der Substitutionswirkung von Holzprodukten. Allerdings lassen sich weder der rein Projekt-basierte Ansatz noch ein Ansatz auf nationaler Ebene direkt umsetzen.
- Methodisch schwierig beim rein Projekt-basierten Ansatz sind die eindeutige Festlegung der Baseline und der Nachweis der Additionalität. Diese Probleme lassen sich weitestgehend über einen Mischansatz – also einen Einzelprojekt-bezogenen Ansatz unter Verweis auf die Holzflüsse auf nationaler Ebene - lösen.
- Um den Anforderungen an eine Baseline und an die Additionalität der Substitutionswirkung gerecht zu werden, sollte die Betrachtung auf die Substitutionswirkung von Holz in der Primärkonstruktion evt. unter Einbezug ausgewählter weiterer Bauteile beschränkt werden.
- Unter diesen Einschränkungen wird das Potential nach ersten Schätzungen in der Schweiz bei ca. 40'000 t CO₂ pro Jahr liegen. Diese Zahl ist aber noch mit großen Unsicherheiten behaftet, da „wählbaren“ Bauteile außerhalb der Primärkonstruktion noch nicht abschließend bestimmt sind und da die verwendeten Default Faktoren statistischen Ansprüchen aufgrund der viel zu geringen Stichprobe nicht genügen (s. unten).
- Die Additionalität der Substitutionswirkung läßt sich nicht rein finanziell begründen. Weitere Nutzen wie Imagegewinn für die Bauherrschaft, als „gute Tat“ im Sinne des Klimaschutzes (deren Wirkung die Zertifikate erst dokumentieren und sichtbar machen!), im Sinne der Förderung von KMUs oder im Sinne der Förderung von Randregionen stellen wichtige Elemente der Additionalitätsbetrachtung dar.
- Die Quantifizierung der Substitutionswirkung eines Gebäudes sowie die Ausgabe und Verwaltung der Zertifikate muß mit möglichst geringem Aufwand erfolgen. Dazu muß für alle Beteiligten ein genügend großer Anreiz bestehen, im System mitzuwirken.
- Die Quantifizierung der Substitutionswirkung eines Gebäudes kann sinnvoll nur über Default Faktoren berechnet werden, die aus der Auswertung der Treibhausgasemissionen aus Konstruktion, Unterhalt und Entsorgung einer Stichprobe von verschiedenen Gebäuden und Gebäudetypen mit konventioneller Primärkonstruktion bzw. einer

Primärkonstruktion aus Holz erfolgen muß. Dieser Ansatz wurde bereits beispielhaft an den in dieser Studie ausgewerteten beiden Gebäuden durchgespielt.

Die Herleitung von Default Faktoren über Substitutionsüberlegungen an einem konkreten Gebäude in konventioneller Ausführung bzw. in Holz oder über eine statistische Auswertung der Konstruktionen im Bauteilkatalog hat sich als nicht zielführend erwiesen.

- Der Einbezug der Substitutionseffekte aus der energetischen Nutzung von Rest- und Altholz scheint nicht angezeigt, da es dabei zu Doppelzählungen mit z.B. von der Energieagentur der Wirtschaft oder von der Stiftung Klimarappen finanzierten Klimaschutzprojekten kommen kann.
- Je nach Partner für die Vermarktung und der erwarteten Akzeptanz im Markt bleibt der Einbezug der temporären Senkenwirkung zu prüfen. Berechnungsregeln dazu liefern z.B. der PAS 2050 oder zukünftig auch der „carbon footprint“ Standard ISO 14067.
- Anforderungen an das Monitoring bleiben zu klären und sollten unter Einbezug des zukünftigen Verifizierers erarbeitet werden.

Vor diesem Hintergrund scheint die Weiterentwicklung des hier skizzierten Berechnungsmodells zu einem umfassenden Geschäftsmodell angebracht, zumal CO₂ / Klimabewusstsein in einer breiten Käuferschaft zusehends ein Entscheidungskriterium wird. CO₂-Angebote im Bereich verbauten Holzes fehlen heute gänzlich. Ein solches Angebot könnte enorm stimulierende Wirkung für den gesamten Holzbau, den anwendungsbezogenen Holztechnologiefortschritt und die Zulieferkette haben und würde letztlich die Wertschöpfungskette Wald und Holz in der Schweiz stärken.

Die Grundzüge eines solchen Geschäftsmodells, abgeleitet auf den Erkenntnissen dieses Grundlagenpapiers, könnten wie folgt aussehen:

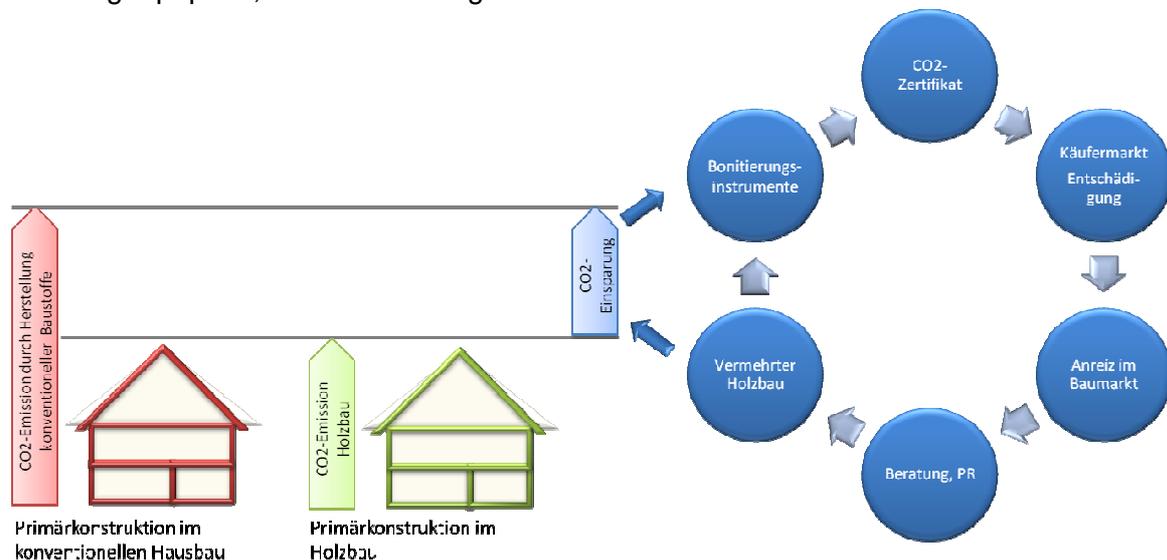


Abbildung 1-1: Grundzüge eines Geschäftsmodells zur Monetarisierung der Substitutionseffekte von Holz in der Primärkonstruktion

Die hier dargestellten CO₂-Gutschriften im Holzbau beziehen sich auf den CO₂-Effekt, den ein konventionelles Hausbauteil in der Primärkonstruktion (z.B. zweischaliges Mauerwerk) gegenüber einer funktional gleichwertigen Holzbauteilausführung hat. Wird also mit Holz gebaut anstelle konventionell, sind CO₂-Emissionen tatsächlich vermieden. Dieser Reduktionseffekt wird in Form eines Zertifikats bestätigt und auf dem CO₂-Käufermarkt angeboten. Dadurch entstehen Geldströme, aber auch ideelle Verknüpfungen zwischen Holzbau und Klima. Dies kann als Katalysator wirken und vermehrt Anreize für den CO₂-armen Hausbau

schaffen. Dadurch kann der Einsatz nachhaltiger Holzprodukte gesteigert und die Verwendung (und Produktion) energieintensiver Materialien, wie sie im konventionellen Hausbau üblich sind, senken. Dadurch werden weitere CO₂-Emissionen effektiv vermieden.

Welcher Nutzen wird erzeugt mit dem Angebot einer CO₂-Gutschrift im Holzbau? Grundsätzlich müssen alle beteiligten Akteure profitieren, damit sich ein System im Markt etablieren kann. Wir sehen den Nutzen vereinfachend dargestellt für die beteiligten Gruppen wie folgt:

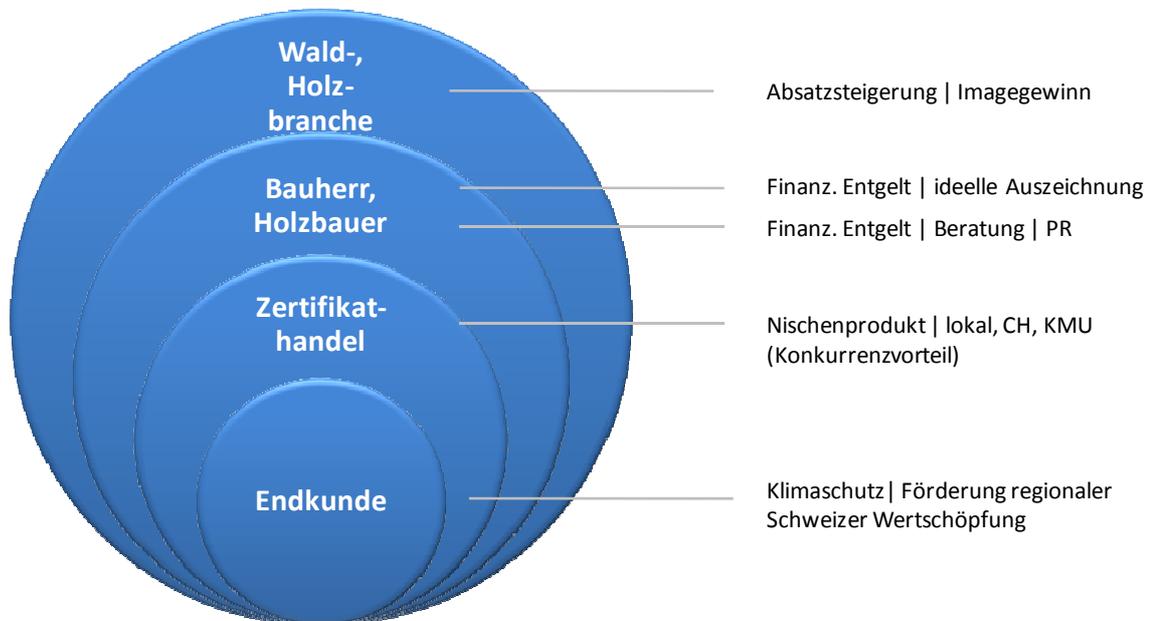


Abbildung 1-2: Erwarteter Nutzen des Geschäftsmodells für die Akteure

Zur Etablierung eines Systems, das alle beteiligten Bereiche in oben aufgeführter Form einbinden kann, sind vertiefte Abklärungen nötig, die allenfalls in einem Folgeprojekt getroffen werden könnten. Aus heutiger Sicht wäre der Nutzen für die gesamte Holzbranche zukunftsweisend.

2 Ausgangslage, Methodischer Ansatz und Durchführung

2.1 Ausgangslage

Langlebige Holzprodukte tragen in vielfältiger Weise zur Minderung des globalen Treibhaus-effektes bei. Einerseits verlängern sie die Lagerdauer des im Wald gebundenen CO₂. Andererseits setzt die Herstellung von Holzprodukten im Vergleich zu konventionellen Produkten meist bedeutend weniger CO₂ aus fossilen Energieträgern frei. Darüber hinaus kann sämtliches Holz thermisch verwertet werden und substituiert so weitere fossile Energieträger.

Die Schweiz hat sich im Rahmen der UN Klima-Konvention und des Kyoto-Protokolls sowie im CO₂-Gesetz zu einer Reduktion des nationalen Ausstosses an Treibhausgasen verpflichtet. Bis heute stehen aber keine Instrumente bereit, dem Beitrag der Wald- und Holz-wirtschaft zur Erreichung der Klimaziele einen gebührenden Stellenwert zu geben. Es fehlt sowohl an den Instrumenten zur Messung des effektiven Beitrags als auch an den Möglich-keiten der Umsetzung dieser Leistung in Marktvorteile für die Hersteller und Verwender von Holz.

Für den Waldbereich werden zur Zeit Instrumente entwickelt, durch die Anreize geschaffen werden sollen, dass Waldbesitzer ihren Wald auch hinsichtlich der Senkenwirkung für CO₂ bewirtschaften und entsprechend entschädigt werden. Für die Hersteller und die Verwender von Holzprodukten fehlen zur Zeit Instrumente, welche sowohl die Lagerwirkung von Holz-produkten als auch die mit der Substitutionswirkung von Holz verbundenen Emissionsein-sparungen entgelten bzw. Anreiz für eine gesteigerte Holznutzung setzen würden. Mit der Weitergabe von Marktvorteilen an den Kunden entsteht erst der zusätzliche Anreiz, damit das Potential der Wald- und Holzwirtschaft für die Verbesserung der nationalen Treibhaus-gasbilanz auch ausgeschöpft wird.

Branchenpolitisch ist dieser Schritt von hoher Bedeutung. Die Akteure in der Branche sind sich einig, dass die CO₂-Leistungen von Wald und Holz gesamtheitlich betrachtet werden müssen. Fachleute sind sich einig, dass die Anrechnung der Senkenleistung im Wald der Holznutzung nicht entgegensteht, dass die Holznutzung mittelfristig vielmehr den Effekt ha-ben soll, dass die gespeicherten Mengen des Kohlenstoffs aus dem Speicher Wald in einen Speicher, Zivilisationskreislauf¹ und dort insbesondere in den Gebäudepark transferiert wer-den. Modellrechnungen, welche im Auftrag des BAFU durchgeführt wurden, bestätigen, dass der optimale Effekt für die nationale Treibhausgasbilanz mit einer laufenden Abschöp-fung des maximalen Zuwachses im Wald und der Verarbeitung des Holzes in möglichst langlebige Holzprodukte erzielt werden kann¹. Alles Holz, das nicht höherwertig eingesetzt werden kann, wird dabei energetisch genutzt. Hinweise auf eine Umsetzung und den Beitrag der Holzanwendung an die Emissionsreduktion einer ganzen Region finden sich auch in ei-ner Machbarkeitsstudie zu Klimaschutz in der Landschaft Davos². Studien allein nützen aber nichts, wenn wir nicht in der Lage sind, die entsprechenden Leistungen zu messen und marktwirksam in Wert zu setzen.

Im Rahmen der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ist die Lagerwirkung von Holzprodukten nicht anrechenbar³. Deshalb konzentriert sich dieser Projektvorschlag auf die Substitutionswirkung der Holzverwendung. Ziel dieses Projektes ist es also, Möglichkeiten

¹ Taverna *et al.* 2007; Werner *et al.* 2009

² SLF, 2006

³ wobei zur Zeit im Vorfeld der nächsten COP/MOP international um einen Bilanzierungsansatz ge-feilscht wird.

zu erarbeiten und zu quantifizieren, wie Anreize für die Hersteller und Verwender von Holzprodukten geschaffen werden können, dass das Reduktionspotential der Substitution von energieintensiveren konventionellen Produkten und als Unterfragestellung die C-Speicherung in Holzprodukten auch ausgeschöpft wird.

2.2 Methodischer Ansatz

Eine von der Lignum ins Leben gerufene Arbeitsgruppe hat verschiedene Möglichkeiten für die Monetarisierung der CO₂-Leistungen diskutiert, darunter:

- a) Die Bonitierung von Holzprodukten hinsichtlich ihrer Substitutionswirkung, wobei die Treibhausgaswirkung sowie die ökonomische „Gutschrift“ als Verbilligung des Produktes über die Holzkette weitergegeben wird. Alternativ dazu könnte die Treibhausgaswirkung sowie die ökonomische „Gutschrift“ auf einem Label pro Produkt ausgewiesen werden, um sicherzustellen, dass die Verbilligung beim Endverbraucher marktrelevant wird;
- b) Grosse Endverbraucher von Holz, insbesondere Bauherren von Holzgebäuden, können den von ihnen erbrachten Substitutionseffekt verkaufen, z.B. mittels dem Zugang zum Handel mit CO₂-Zertifikaten. Um der Integrität des Instrumentes willen dürfte aber insgesamt nur die zusätzliche Holzverwendung honoriert werden. Diese Zertifikate könnten sowohl dem Bund als auch anderen privaten Akteuren verkauft werden und würden so zu einer Verbilligung und damit zu einem „pull“-Markteffekt für die Verwendung von Holz führen.

Alternativ zur expliziten Zertifikatslösung wäre auch als Vereinfachung vorstellbar, dass der Substitutionseffekt einer gesteigerten Holznutzung mittels Vereinbarungen direkt an grosse Emittenten aus der Industrie, aber auch Käufern wie z.B. der Stiftung Klimarappen und letztlich auch dem Bund, verkauft werden.

Die Mechanismen, über welche der Ertrag den Erstellern von Holzhäusern zugute kommen kann, wären ebenfalls zu prüfen. Dabei kommen sowohl direkte Verteilmechanismen, als auch indirekte Massnahmen wie z.B. die Förderung der Forschung/Entwicklung und der Beratung oder die Reduktion der MWSt für Holzprodukte in Frage.

Um die oben genannten Optionen beurteilen zu können, sind aber vorab die folgenden Kernfragen zu beantworten:

- Wie wird der Substitutionseffekt verschiedener Typen von Holzhäusern und ausgewählten Elementen des konstruktiven Ausbaus gegenüber konventionellen Bauarten (u.a. Treppen, Einbauten, Dachstühle, Böden) abgeschätzt und welche („Ideal-“) Typen sollen berücksichtigt werden?
- Wie wird der „zusätzlich erstellte“ Anteil an Holzhäusern bestimmt und wie werden die CO₂-Zertifikate „gerecht“ an die Ersteller von Holzhäusern verteilt?
- Wie (über welchen Markt) wird der jeweilige Substitutionseffekt monetär bewertet, bzw. wer ist der Abnehmer der CO₂-Zertifikate?
- Welche Massnahmen sind nötig, um das Instrument aktuell zu halten und so die umweltliche Integrität des Instrumentes sicherzustellen?

Zumindest ansatzweise sind Antworten auf alle der erwähnten Kernfragen vorhanden. So erlauben bestehende Ökobilanzdaten bereits die Berechnung von Treibhausgasprofilen für Bau und Betrieb von Gebäuden. Auch haben sich in den letzten Jahren Märkte und Institutionen herausgebildet – entsprechend der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) oder „myclimate.com“ – , über die die Monetarisierung und Vermarktung erfolgen könnte. Auch steht einiges statistisches Material zur Verfügung, um den „zusätzlich erstellten“ Anteil an Holzhäusern zu bestimmen, eine Typisierung von sich zu substituierenden Gebäudetypen vorzu-

nehmen und eine erste Schätzung des Umfangs der zu erwartenden CO₂-Zertifikate und Geldflüsse vorzunehmen.

2.3 Durchführung

Im Sinne einer Machbarkeitsstudie werden folgende Projektschritte ausgeführt:

- 1) Festlegung der Gebäude- und Produkttypen und erste Spezifizierung (Material- und Bauteilliste);
- 2) Quantifizierung des Treibhausgasprofils von mindestens 2 sich substituierenden repräsentativen Gebäudetypen und 2 entsprechenden Produkten des konstruktiven Ausbaus basierend auf bestehenden Ökobilanzdaten, um eine erste Abschätzung der Gesamtwirkung des Instrumentes zu ermöglichen;
- 3) Erarbeitung einer Erfassungsmethodik der Holzflüsse und der Holzverwertungskanäle basierend auf den bestehenden statistischen Grundlagen, um eine Quantifizierung der „zusätzlich erstellten“ Holzbauten auf nationaler Ebene zu ermöglichen;
- 4) Quantifizierung der Gesamtwirkung des Instrumentes und des ökonomischen Potentials sowie die Abschätzung der Unschärfe (soweit möglich);
- 5) Vertiefte Klärung der Möglichkeiten und Grenzen der Monetarisierungs-Instrumente und Auswahl des anzuwendenden Mechanismus;
- 6) Klärung der Modalitäten und institutionellen Fragen (Trägerschaft, Verwendung der Zertifikate/Erlöse aus Zertifikaten) und erster Kontakt zu möglichen Abnehmern der Zertifikate; inklusive Einbezug / Befragung von Interessengruppen;
- 7) Festlegung weiterer Rahmenbedingungen für die Umsetzung inkl. benötigter Finanzen und Zeitrahmen.

3 Quantifizierung der Treibhauswirkung von Holzprodukten

Bei der Quantifizierung der Treibhauswirkung von Holzprodukten werden verschiedene Herangehensweise untersucht, so die:

- Objektbezogene Quantifizierung der Treibhausgaswirkung eines Gebäudes auf Bauteilebene in einer Ausführung in Holz im Vergleich zu einer konventionellen Ausführung, basierend auf den Treibhausgasprofilen des Bauteilkataloges,
- Objektbezogene Quantifizierung der Treibhausgaswirkung eines Gebäudes auf Bauteilebene in einer Ausführung in Holz über Default Faktoren,
- Szenarienbewertung auf nationaler Ebene.

3.1 Objektbezogene Quantifizierung nach Bauteilkatalog

Für die objektbezogene Quantifizierung wurden die maßgebenden Flächen für zwei Wohngebäude bestimmt und die Treibhausgasbilanzen aus der Herstellung, Unterhalt und Entsorgung über den Bauteilkatalog (www.bauteilkatalog.ch) möglichst spezifisch errechnet. Bei den betrachteten Wohngebäuden handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus in Massivbauweise sowie ein Einfamilienhaus in Leichtbauweise.

3.1.1 Grundlagen

Gemäss Amt für Statistik der Schweiz entstanden im Jahr 2007 rund 10'800 Wohnungen (von total ca. 26'700) in Mehrfamilienhäuser, die in Gemeinden mit weniger als 5000 Einwohner liegen. Bezogen auf den gesamten Bestand von rund 227'800 Mehrfamilienhäuser in der Schweiz per 2000 zählen nur 38'100 mehr als 5 Geschosse, hingegen rund 165'000 3 oder 4 Geschosse.

Auch wenn die Vergangenheit nie zwingend den Weg in die Zukunft weist, dürften in der Schweiz aber auf absehbare Zeit immer noch hauptsächlich 3 bis 4-geschossige Gebäude in Gemeinden mit weniger als 5000 Einwohner gebaut werden. Die Auswahl der Musterbauten fiel deshalb auf ein Einfamilienhaus in Leichtbauweise aus Holz, das von einem der Autoren dieser Studie selbst entworfen wurde, und auf Mehrfamilienhaus mit 3 Geschossen plus Attikageschoss mit Satteldach in konventioneller Ausführung, das so oder leicht anders in zahlreichen Gemeinden der Schweiz stehen könnte⁴. Beide Gebäude wurden in den letzten Jahren gebaut.

Für beide Objekte wurden die Flächen der einzelnen Bauteile ausgemessen und entsprechenden Konstruktionen des Bauteilkatalogs zugeordnet. Für beide Gebäude wurden zusätzlich die wahrscheinlichste Konstruktion bestimmt, in der das Gebäude konventionell (im Falle des EFH) bzw. in Holz (im Falle des MFH) ausgeführt worden wäre. Dabei wurden soweit wie möglich die funktionalen Eigenschaften (e.g. wärmetechnische Eigenschaften) als auch die konstruktionsbedingten Eigenheiten des Gebäudes berücksichtigt⁵.

In einem weiteren Schritt wurden die Treibhausgasemissionen pro Bauteil über 60 Jahre als Referenzstudienperiode aus dem Bauteilkatalog herausgelesen bzw. errechnet (im Fall, wo Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog angepaßt werden mußten). Weiter wurde basierend auf den Angaben im Bauteilkatalog die Menge CO₂ errechnet, die in der Konstruktion über 60 Jahre gebunden ist⁶. Zusätzlich wurde die energetische Substitutionswirkung des verbau-

⁴ das Mehrfamilienhaus steht im Ortsteil Küntwil in Rotkreuz, Gemeinde Risch / ZG, geplant von Brusa Architekten AG, Oberwil bei Zug

⁵ für Detail zu den Gebäuden, s. Affentranger 2009

⁶ diese Menge ist nicht identisch mit der Holzmenge, die über 60 Jahre in eine Konstruktion einfließen, da der Ersatz eines Bauteils aus Holz die gespeicherte Menge CO₂ nicht erhöht.

ten Holzes (ohne Berücksichtigung von Klebern, etc.) errechnet, wobei die gesamte über 60 Jahre verbaute Menge Holz – also inkl. die Mengen, die für den Unterhalt gebraucht wurden – einbezogen wurde⁷.

Die entsprechenden Angaben finden sich in Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2.

⁷ Dazu wurde eine Substitutionswirkung von 600 kg CO₂/m³ Holz bei 500 kg/m³ angenommen (Werner und Richter 2005)

Tabelle 3-1 Einfamilienhaus: Zuordnung der Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog für die Ausführung in Holz (wie gebaut) und konventionell (wie abgeleitet), Treibhauspotential der Konstruktion über 60 Jahre und C-Speicherung im Holz über 60 Jahre

Bauteil	Gesamtfläche m ²	Beschrieb konventionell	Bezeichnung BTK	GWP Lebenszyklus 60 Jahre kg CO ₂ -eq./m ²	C-Speicherung in Holz (ohne Hilfsstoffe) kg CO ₂ /m ²	Bemerkungen	Beschrieb Ausführung in Holz	Bezeichnung BTK	GWP Lebenszyklus 60 Jahre kg CO ₂ -eq./m ²	C-Speicherung in Holz (ohne Hilfsstoffe) kg CO ₂ /m ²	
Aussenwand Normalgeschoss	178.03	Einschalenbacksteinmauerwerk, aussendämmung Glaswolle, hinterlüftet	W4-W05	59.14		34 cm Isolation	Rippenplattenbauweise mit 34 cm Isolation, 35 mm Blockholzplatte innen, Weichfaserplatte, 35mm Lattung, Täger Nadelholz 24 mm	E4-W101	37.37	88.72	
Fenster	49.11	PVC-Rahmen u=1.6; 3-fach Verglasung u=0.5; Rahmenanteil 25.4%; U-Wert Fenster: 0.99	E5100-F06	271.97			25.4%; U-Wert Fenster: 0.96	E5100-F02	149.21	15.29	Holzmenge aus Richter et al 1996
Aussentüren	7.25	Aussentüre, Holz, aluminiumbeplankt, Stahlzarge	E5200-T01	179.20	13.58	Annahme: Holzmasse in Türblatt wie Innentüre	Aussentüre, Holz, aluminiumbeplankt; Stahlzarge	E5200-T01	179.2	13.58	Annahme: Holzmasse in Türblatt wie Innentüre
Innenwand 1	26.16	Sichtbetonwand	E6-040	41.848		12 cm	Blockholzplatte 10 cm	E4-W47	6.09	76.84	Annahmen: Blockholzplatte (u=10%) ohne zusätzliche Schichten von E4-W47
Innenwand 2	155.69	Sichtbetonwand	E6-040	41.848		12 cm	Blockholzplatte 7.0 cm	E4-W47	4.26	53.79	Annahmen: Blockholzplatte (u=10%) ohne zusätzliche Schichten von E4-W47
Innenwand 3	47.71	Sichtbetonwand	E6-040	41.848		12 cm	Blockholzplatte 3.5 cm	E4-W47	2.13	26.89	Annahmen: Blockholzplatte (u=10%) ohne zusätzliche Schichten von E4-W47
Treppe	30.9	Sichtbetonwand	E6-040	52.31		Annahme: 1.5-faches Volumen Annahmen: Holzleuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe HDF: 1.7 %, Spanplatte: 10%; HDF: 1.7% bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)	5-Schicht Blockholzplatten 100mm		20.7	73.57	Bilanziert als 3-Schicht-Massivholzplatte (u=10%), PVAc-gebunden (15%)
Türflügel	19.01	Türblatt Holzwerkstoffe;	Werner 1996	154.00	13.58		Türblatt Holzwerkstoffe;	Werner 1996	154	13.58	
Zargen	19.01	Röhrenspanfüllung Stahlzarge lackiert	Werner 1996	60.59			Röhrenspanfüllung Massivholz zarge, lackiert	Werner 1996	29.00	10.45	
Boden Ebene 1 über Beton	40.06	35 mm Blockholzplatte auf Rippen, Isolation, total 25 cm stark	E0-Bi02	26.89	59.31	Annahmen: Blockholzplatte (u=10%) statt Spanplatte als Deckschicht/Balken u=15%; Dicke total 27.5 cm	35 mm Blockholzplatte auf Rippen, Isolation, total 25 cm stark	E0-Bi02	26.89	59.31	Annahmen: Blockholzplatte (u=10%) statt Spanplatte als Deckschicht/Balken u=15%; Dicke total 27.5 cm
Boden Ebene 3 über unbeheizt	28.56	Wärmedämmung 20 cm, Betondecke 16 cm, Trittschalldämmung, Unterlagsboden	E0-B10	134.46		Beton 16 cm; Isolation 20 cm	Hohlkasten: zwei 35 mm Blockholzplatte auf Rippen, Isolation, total 32 cm stark	E0-Bi101	33.51	86.45	Annahmen: Extrapolation der Deckplatten, Extrapolation der Steinwolle und der Balkendicke; u=10%; bilanziert ohne Spanplatte, Glaswolle und Dampfbremse
Boden Ebene 4 über unbeheizt	24.25	Wärmedämmung 16 cm, Betondecke 16 cm, Trittschalldämmung, Unterlagsboden	E0-B10	130.93		Beton 16 cm; Isolation 16 cm	Hohlkasten: 35 mm Blockholzplatte auf Rippen, Isolation, total 27 cm stark	E0-Bi101	30.94	79.85	Annahmen: Extrapolation der Deckplatten, Extrapolation der Steinwolle und der Balkendicke; u=15%; bilanziert ohne Spanplatte, Glaswolle und Dampfbremse
Boden Ebene 8, Estrich	10.8	Betondecke 16 cm	E0-B300	112.95			Blockholzplatte massiv, 10 cm	E0-B303	25.4	94.52	Annahmen: bilanziert als Brettschichtholzplatte (u=10%), ohne zusätzliche Schichten der Konstruktion E0B303
Boden Ebenen 2-7	104.43	Betondecke 16 cm Blockholzplatte 35 mm, 34 cm Rippen, Weichfaserplatte, Unterdachfolie, Lattung, 24 mm	E0-B300	112.95			Hohlkasten: Holzkasten, 2x35 mm Blockholzplatte mit rippen, total 17 cm stark, mit 10 cm Steinwolle als Schalldämmung, keine Trittschalldämmung Blockholzplatte 35 mm, 34 cm Rippen, Weichfaserplatte, Unterdachfolie, Lattung, 24 mm	E0Bi101	25.80	66.66	Annahmen: Extrapolation der Deckplatten, Extrapolation der Steinwolle und der Balkendicke; u=10%; bilanziert ohne Spanplatte, Glaswolle und Dampfbremse
Dach	116.2	Täger Nadelholz, Blechdach	E1-Di302	109.77	68.7408349	Annahmen: Blech statt Ziegeleindeckung	Täger Nadelholz, Blechdach	E1-Di302	109.77	68.74	Annahmen: Blech statt Ziegeleindeckung

Tabelle 3-2 Mehrfamilienhaus: Zuordnung der Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog für die Ausführung in Holz (wie gebaut) und konventionell (wie abgeleitet), Treibhauspotential der Konstruktion über 60 Jahre und C-Speicherung im Holz über 60 Jahre

Auswertung Mehrfamilienhaus											
Bauteil	Gesamtfläche	Beschreibung konventionell	Bezeichnung BTK	GWP Lebenszyklus 60 Jahre	C-Speicherung in Holz (ohne Hilfsstoffe)	Bemerkungen	Beschreibung Ausführung in Holz	Bezeichnung BTK	GWP Lebenszyklus 60 Jahre	C-Speicherung in Holz (ohne Hilfsstoffe)	
	m ²			kg CO ₂ -eq./m ²	kg CO ₂ /m ²				kg CO ₂ -eq./m ²	kg CO ₂ /m ²	
Aussenwand Normalgeschoss	434.4	Einschalmauerwerk 17.5 cm mit 18 cm Aussenisolation; U-Wert 0.19	E4-W01	145.17		Ausführung in Steinwolle statt Polystyrol: 151 kg CO ₂ /m ²	Holzständerwand mit zwischenliegender Wärmedämmung 24 cm, hinterlüftete Verkleidung; U-Wert 0.19	E4-W01	26.61	69.63	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe MDF bezogen auf atro: 10% (ecoinvent 2.0)
Aussenwand Attikawohnung	109.3	Einschalmauerwerk 17.5 cm mit 18 cm Aussenisolation; U-Wert 0.19	E4-W01	145.17		Ausführung in Steinwolle statt Polystyrol: 151 kg CO ₂ /m ²	Holzständerwand mit zwischenliegender Wärmedämmung 24 cm, hinterlüftete Verkleidung; U-Wert 0.19	E4-W01	26.61	69.63	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe MDF bezogen auf atro: 10% (ecoinvent 2.0)
Fenster (Normalgeschosse plus Attika)	289.5	PVC-Rahmen u=1.6; 3-fach Verglasung u=0.5; Rahmenanteil 25.4%; U-Wert Fenster: 0.99	E5100-F06	271.97			Holzrahmen u=1.5; 3-fach Verglasung u=0.5; Rahmenanteil 25.4%; U-Wert Fenster: 0.96	E5100-F02	149.21	15.29	Holzmenge aus Richter et al 1996
Innenwand Normalgeschoss, inkl. Schachtwände	672.6	15 cm Backstein Innenwand, verputzt	E6-021	66.63			Holztrennwand aus Spanplatten 20 mm auf Holzunterkonstruktion 60/80 mm, Schalldämmung 40 mm	M1100-M040	30.09	49.96	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe Spanplatte: 10% bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)
Innenwand Attikageschoss, inkl. Schachtwände	113.5	15 cm Backstein Innenwand, verputzt	E6-021	66.63			Holztrennwand aus Spanplatten 20 mm auf Holzunterkonstruktion 60/80 mm, Schalldämmung 40 mm	M1100-M040	30.09	49.96	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe Spanplatte: 10% bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)
Wohnungstrennwand	46.38	25 cm Porenbeton, beidseitig verputzt	E6-031	74.78			Holztrennwand aus Spanplatten 20 mm auf Holzunterkonstruktion 60/80 mm, Schalldämmung 40 mm	M1100-M040	30.09	49.96	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe Spanplatte: 10% bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)
Wände Treppenhaus Normalgeschoss	176.4	Zweischalenmauerwerk, bilanziert als 12.5 cm einfache Backsteinwand	E6-020	32.07		Wohnungsseitige 2. Wand bereits unter Innenwand Normalgeschoss bilanziert	Zweischalenmauerwerk, bilanziert als 12.5 cm einfache Backsteinwand	E6-020	32.07		Aus feuerpolizeilichen Gründen nicht in Holz ausführbar
Wände Treppenhaus Attikageschoss	29.3	Zweischalenmauerwerk, bilanziert als 12.5 cm einfache Backsteinwand	E6-020	32.07		Wohnungsseitige 2. Wand bereits unter Innenwand Normalgeschoss bilanziert	Zweischalenmauerwerk, bilanziert als 12.5 cm einfache Backsteinwand	E6-020	32.07		Aus feuerpolizeilichen Gründen nicht in Holz ausführbar
Türflügel (Normalgeschosse plus Attika)	87.9	Türblatt Holzwerkstoffe;	Werner 1996	154	13.58		Türblatt Holzwerkstoffe;	Werner 1996	154	13.58	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe HDF: 1.7 % bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)
Zargen (Normalgeschosse plus Attika)	87.9	Röhrenspanfüllung	Werner 1996	60.59			Röhrenspanfüllung	Werner 1996	29.00	10.45	
Decken im Normalgeschoss	553.8	Betondecke, Trittschalldämmung, Unterlagsboden (d=43 cm)	E0-B300	179.43		Extrapolation der Betondecke von 20 cm auf 35 cm	Massivholzdecke Brettschichtholz, Trittschalldämmung, Unterlagsboden	E0-B303	110.52	283.56	Extrapolation des BSH von 12 cm auf 36 cm
Boden zu Keller	276.9	Wärmedämmung, Betondecke, Trittschalldämmung, Unterlagsboden; U-Wert=0.23	E0-B10	178.43		Extrapolation der Betondecke von 20 cm auf 30 cm	Wärmedämmung, Massivholzdecke Brettschichtholz, Trittschalldämmung, Unterlagsboden	E0-B303	136.35	236.30	Extrapolation des BSH von 12 cm auf 30 cm; zuzüglich 12 cm Steinwolle (wie in E0-B10)
Decke über oberstem Normalgeschoss	354.2	Betondecke, Trittschalldämmung, Unterlagsboden (d=43 cm)	E0-B300	179.43		Extrapolation der Betondecke von 20 cm auf 35 cm	Massivholzdecke Brettschichtholz, Trittschalldämmung, Unterlagsboden	E0-B303	110.52	283.56	Extrapolation des BSH von 12 cm auf 36 cm
Attikaschrägdach	263.9	Schrägdach: Sparrenlage mit zwischenliegender Wärmedämmung 24 cm	E1-Di01	53.35	45.44	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe HDF: 1.7 % bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)	Schrägdach: Sparrenlage mit zwischenliegender Wärmedämmung 24 cm	E1-Di01	53.35	52.24	Annahmen :Holzfeuchte: 10%; Anteil Hilfsstoffe HDF: 1.7 % bezogen auf atro (ecoinvent 2.0)
Treppenhaus	51.9	Betondecke, Trittschalldämmung, Unterlagsboden (d Beton=24 cm)	E0-B300	140.07		Extrapolation der Betondecke von 20 cm auf 24 cm	Betondecke, Trittschalldämmung, Unterlagsboden (d Beton=24 cm)	E0-B300	140.07		Aus feuerpolizeilichen Gründen nicht in Holz ausführbar
Balkon	63.2	Betondecke 15 cm	E0-B300	52.77		Bilanziert ohne Trittschalldämmung und Dampfsperre	Massivholzdecke Brettschichtholz 15 cm	E0-B303	38.1	118.15	Extrapolation des BSH von 12 cm auf 15 cm

3.1.2 Ergebnisse Einfamilienhaus

In Tabelle 3-3 sind die Treibhausgasemissionen und Effekte der Materialsubstitution, C-Lagereffekte und energetische Substitutionseffekte je Bauteil im Einfamilienhaus für die Referenzstudienperiode von 60 Jahren zusammengestellt.

Tabelle 3-3: Treibhausgasemissionen und Effekte der Materialsubstitution, C-Lagereffekte und energetische Substitutionseffekte je Bauteil im Einfamilienhaus (Bezug 60 Jahre)

Bauteil	Gesamtfläche m ²	GWP			C-Speicher Konventionell tCO ₂	C-Speicher Holzbau tCO ₂	ΔC-Speicher tCO ₂	Energetische Substitution Konventionell tCO ₂ -eq.	Energetische Substitution Holzbau tCO ₂ -eq.	Δ Energetische Substitution tCO ₂ -eq.	Bemerkungen
		Konventionell tCO ₂ -eq.	GWP Holzbau tCO ₂ -eq.	ΔGWP tCO ₂ -eq.							
Aussenwand Normalgeschoss	178.03	10.5	6.7	-3.9	0.0	15.8	15.8	0.0	-13.2	-13.2	LD Schalung innen: 30 J., LD Schalung aussen 40 J.
Fenster	49.11	13.4	7.3	-6.0	0.0	0.8	0.8	-3.5	-1.0	2.4	LD Fenster: 30 J.; Brennwert PVC: 20.9 MJ/kg; Effizienz KVA 75%
Aussenüren	7.25	1.3	1.3	0.0	0.1	0.1	0.0	-0.2	-0.2	0.0	
Innenwand 1	26.16	1.1	0.2	-0.9	0.0	2.0	2.0	0.0	-2.7	-2.7	LD Holzwand 30 J.
Innenwand 2	155.69	6.5	0.7	-5.9	0.0	8.4	8.4	0.0	-11.2	-11.2	LD Holzwand 30 J.
Innenwand 3	47.71	2.0	0.1	-1.9	0.0	1.3	1.3	0.0	-1.7	-1.7	LD Holzwand 30 J.
Treppe	30.9	1.6	0.6	-1.0	0.0	2.3	2.3	0.0	-1.5	-1.5	LD Treppe 60 J.
Türfügel	19.01	2.9	2.9	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	-0.4	-0.4	LD Türblatt 30 J.
Zargen	19.01	1.2	0.6	-0.6	0.0	0.2	0.2	0.0	-0.2	-0.2	LD Massivholzcharge 50 J.
Boden Ebene 1 über Beton	40.06	1.6	1.6	0.0	2.5	2.5	0.0	-2.5	-2.5	0.0	LD Täfelung: 30 J.; Spanplatte: 30 J.
Boden Ebene 3 über unbeheizt	28.56	3.8	1.0	-2.9	0.0	2.5	2.5	0.0	-1.4	-1.4	
Boden Ebene 4 über unbeheizt	24.25	3.2	0.8	-2.4	0.0	1.9	1.9	0.0	-0.6	-0.6	
Boden Ebene 8, Estrich	10.8	1.2	0.3	-0.9	0.0	1.0	1.0	0.0	-1.3	-1.3	
Boden Ebenen 2-7	104.43	11.8	2.7	-9.1	0.0	7.0	7.0	0.0	-5.3	-5.3	
Dach	116.2	12.8	12.8	0.0	8.0	8.0	0.0	-5.5	-5.5	0.0	LD BSH 60 J.
		74.8	39.3	-35.5	10.9	53.9	43.1	-11.6	-48.7	-37.1	

Basierend auf diesen Zahlen stellt Abbildung 3-1 den Effekt der Materialsubstitution als Differenz der Treibhausgasemissionen der entsprechenden Bauteile in Holz bzw. in konventioneller Ausführung dar.

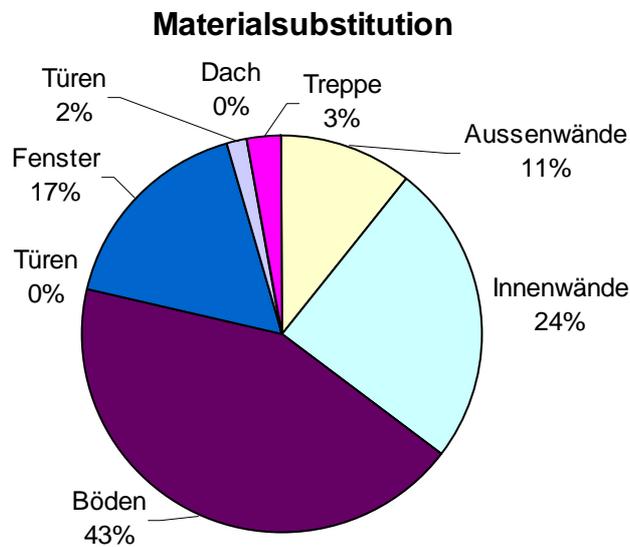


Abbildung 3-1: Beiträge der einzelnen Bauteile des Einfamilienhauses zur Materialsubstitution (Bezug 60 Jahre)

Abbildung 3-2 illustriert die Differenz des C-Speichereffektes der entsprechenden Bauteile in Holz bzw. in konventioneller Ausführung.

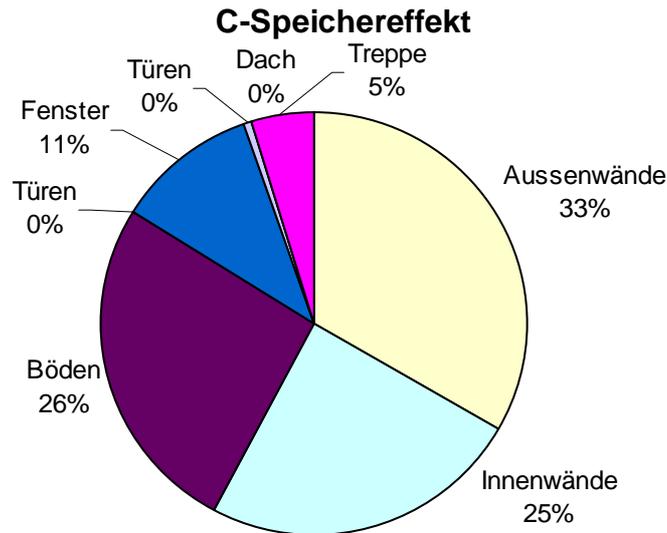


Abbildung 3-2: Beiträge der einzelnen Bauteile des Einfamilienhauses zum (zusätzlichen) C-Speichereffekt (Bezug 60 Jahre)

Abbildung 3-3 illustriert den energetischen Substitutionseffekt aus der thermischen Verwertung des Altholzes⁸ als Differenz der energetischen Substitutionseffekte der jeweiligen Bauteile.

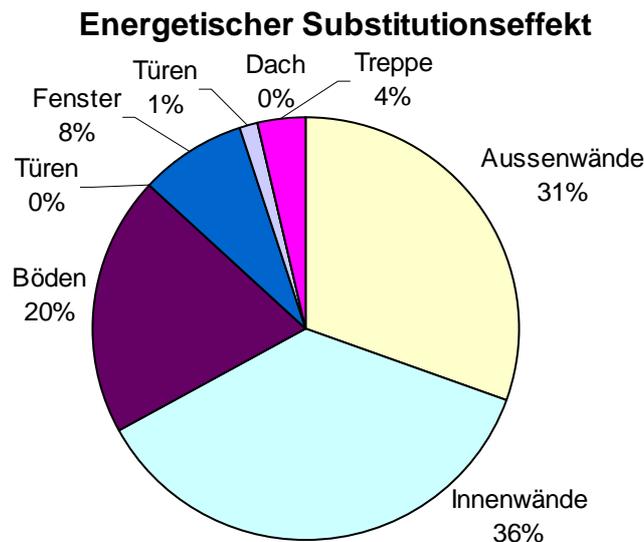


Abbildung 3-3: Beiträge der einzelnen Bauteile des Einfamilienhauses zur energetischen Substitution (Bezug 60 Jahre)

Aufgrund ihrer mengenmäßigen Bedeutung stellen sich die Außenwände, Innenwände, Böden sowie die Fenster als diejenigen Bauteile heraus, die für die Treibhausgaswirkung der Gebäude am relevantesten sind. Die anteilmäßige Beiträge dieser Bauteile zu den betrachteten Effekten ist allerdings sehr unterschiedlich.

⁸ grundsätzlich wurden bei keiner der Konstruktionen die energetische Substitution von Folien etc. berücksichtigt. Bei der Energetischen Substitution der Fenster wurde die Nutzenergie aus der thermischen Nutzung des PVC-Rahmens gegengerechnet.

3.1.3 Ergebnisse Mehrfamilienhaus

In Tabelle 3-3 sind die Treibhausgasemissionen und Effekte der Materialsubstitution, C-Lagereffekte und energetische Substitutionseffekte je Bauteil im Mehrfamilienhaus für die Referenzstudienperiode von 60 Jahren zusammengestellt.

Tabelle 3-4: Treibhausgasemissionen und Effekte der Materialsubstitution, C-Lagereffekte und energetische Substitutionseffekte je Bauteil im Mehrfamilienhaus (Bezug 60 Jahre)

Bauteil	Gesamtfläche m ²	GWP Konventionell tCO ₂ -eq.	GWP Holzbau tCO ₂ -eq.	ΔGWP tCO ₂ -eq.	C-Speicher Konventionell tCO ₂	C-Speicher Holzbau tCO ₂	ΔC-Speicher tCO ₂	Energetische Substitution Konventionell tCO ₂ -eq.	Energetische Substitution Holzbau tCO ₂ -eq.	ΔEnergetische Substitution tCO ₂ -eq.	Bemerkungen
Aussenwand Normalgeschoss	434.4	63.1	11.6	-51.5	0.0	30.2	30.2	0.0	-27.3	-27.3	Annahmen: LD Schalung innen: 30 J., LD Schalung aussen 40 J.
Aussenwand Altkwohnung	109.3	15.9	2.9	-13.0	0.0	7.6	7.6	0.0	-6.9	-6.9	LD Schalung innen: 30 J., LD Schalung aussen 40 J.
Fenster (Normalgeschosse pls Altk)	289.5	78.7	43.2	-35.5	0.0	4.4	4.4	-9.5	-41.2	-31.7	LD Fenster: 30 J.; Brennwert PVC: 20.9 MJ/kg; Effizienz KVA 75%
Innenwand Normalgeschoss, inkl. Schachtwände	672.6	44.8	20.2	-24.6	0.0	33.6	33.6	0.0	-48.1	-48.1	LD Holzwand 30 J.
Innenwand Altkageschoss, inkl. Schachtwände	113.5	7.6	3.4	-4.1	0.0	5.7	5.7	0.0	-8.1	-8.1	LD Holzwand 30 J.
Wohnungstrennwand	46.38	3.5	1.4	-2.1	0.0	2.3	2.3	0.0	-3.3	-3.3	LD Holzwand 30 J.
Wände Treppenhaus Normalgeschoss	176.4	5.7	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Wände Treppenhaus Altkageschoss	29.3	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Türflügel (Normalgeschosse plus Altk)	87.9	13.5	13.5	0.0	1.2	1.2	0.0	-2.0	-2.0	0.0	LD Türblett 30 J.
Zargen (Normalgeschosse plus Altk)	87.9	5.3	2.5	-2.8	0.0	0.9	0.9	0.0	-0.7	-0.7	LD Massivholz zarge 50 J.
Decken im Normalgeschoss	553.8	99.4	61.2	-38.2	0.0	157.0	157.0	0.0	-107.7	-107.7	LD BSH 60 J.
Boden zu Keller	276.9	49.4	37.8	-11.7	0.0	65.4	65.4	0.0	-44.9	-44.9	LD BSH 60 J.
Decke über oberstem Normalgeschoss	354.2	63.6	39.1	-24.4	0.0	100.4	100.4	0.0	-68.9	-68.9	LD BSH 60 J.
Altkaschrägdach	263.9	14.1	14.1	0.0	12.0	13.8	1.8	-12.4	-12.4	0.0	LD HDF 40 J., Holzbalken 60 J., Lattung u. Tüfer 30 J.
Treppenhaus	51.9	7.3	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Balkon	63.2	3.3	2.4	-0.9	0.0	7.5	7.5	0.0	-5.1	-5.1	LD BSH 60 J.
		476.0	267.3	-208.7	13.2	430.1	417.0	-24.0	-376.6	-352.6	

Basierend auf diesen Zahlen stellt Abbildung 3-4 den Effekt der Materialsubstitution als Differenz der Treibhausgasemissionen der entsprechenden Bauteile in Holz bzw. in konventioneller Ausführung dar.

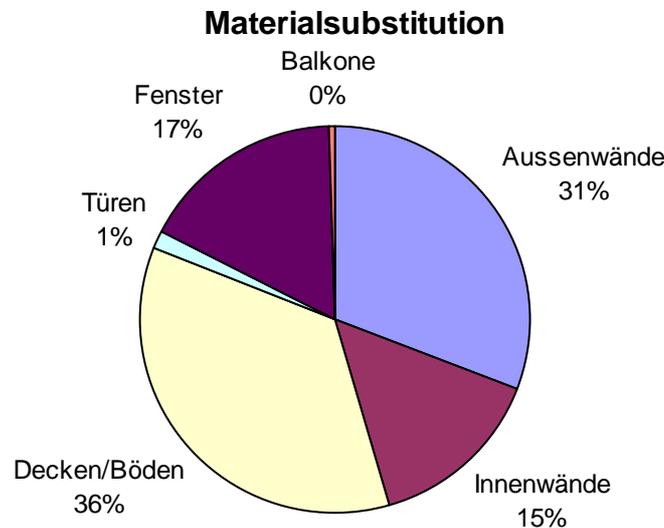


Abbildung 3-4: Beiträge der einzelnen Bauteile des Mehrfamilienhauses zur Materialsubstitution (Bezug 60 Jahre)

Abbildung 3-5 illustriert die Differenz des C-Speichereffektes der entsprechenden Bauteile in Holz bzw. in konventioneller Ausführung.

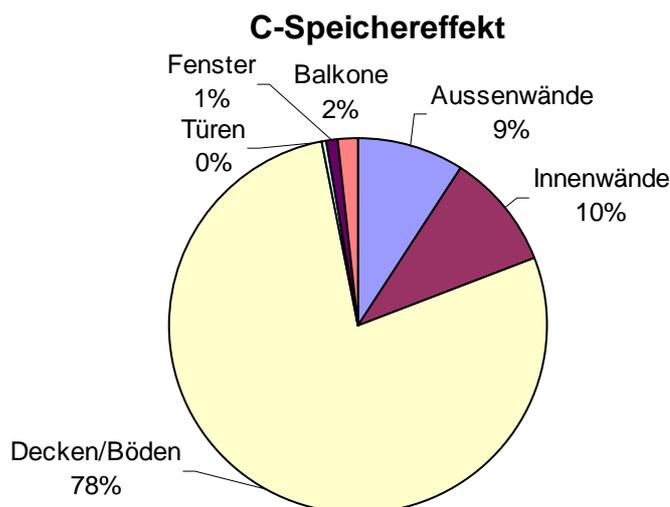


Abbildung 3-5: Beiträge der einzelnen Bauteile des Mehrfamilienhauses zum (zusätzlichen) C-Speichereffekt (Bezug 60 Jahre)

Abbildung 3-6 illustriert den energetischen Substitutionseffekt aus der thermischen Verwertung des Altholzes⁹ als Differenz der energetischen Substitutionseffekte der jeweiligen Bauteile.

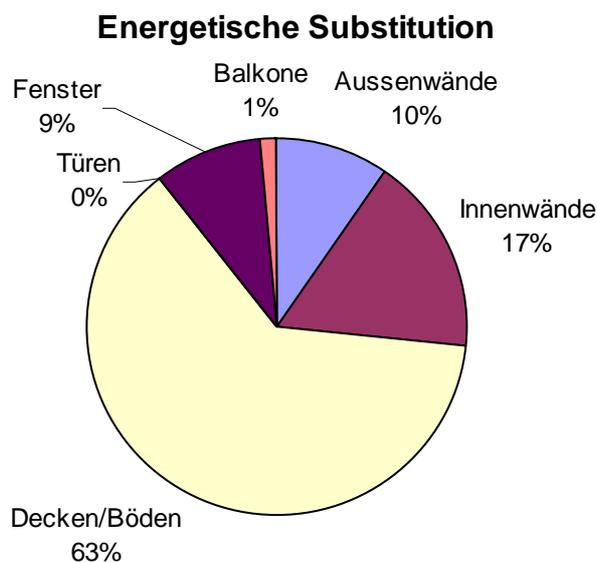


Abbildung 3-6: Beiträge der einzelnen Bauteile des Mehrfamilienhauses zur energetischen Substitution (Bezug 60 Jahre)

Auch beim Mehrfamilienhaus stellen sich die Außenwände, Innenwände, Böden sowie die Fenster als diejenigen Bauteile heraus, die für die Treibhausgaswirkung der Gebäude am relevantesten sind. Die anteilmäßigen Beiträge dieser Bauteile zu den betrachteten Effekten ist allerdings sehr unterschiedlich. Insbesondere fällt auf, daß die C-Speicherung sowie die energetische Substitution von den Beiträgen der Decken/Böden dominiert werden.

⁹ grundsätzlich wurden bei keiner der Konstruktionen die energetische Substitution von Folien etc. berücksichtigt. Bei der Energetischen Substitution der Fenster wurde die Nutzenergie aus der thermischen Nutzung des PVC-Rahmens gegengerechnet.

3.1.4 Vergleich

Im Folgenden werden die verschiedenen treibhausgasrelevanten Wirkungen der beiden Gebäude einander gegenübergestellt. In Tabelle 3-5 sind die Materialsubstitution, die Differenz des C-Speichers sowie der energetische Substitutionseffekt auf einen m³ verbautes Holz in der Holzvariante des Ein- bzw. Mehrfamilienhauses berechnet.

Tabelle 3-5: Treibhausgaseffekte pro m³ Holz in der Holzvariante des Ein- und des Mehrfamilienhauses (Bezug 60 Jahre)

	Δ GWP	Δ C-Speicher	Δ Energ. Substitution
	t CO ₂ -eq./m ³ Holz	t CO ₂ /m ³ Holz	t CO ₂ -eq./m ³ Holz
Einfamilienhaus	-0.59	0.72	-0.62
Mehrfamilienhaus	-0.44	0.87	-0.74
Δ bezogen auf EFH	-26%	21%	19%

Bezogen auf die Werte des Einfamilienhauses unterschieden sich die Materialsubstitution des Mehrfamilienhauses pro m³ Holz um rund -25%, die Differenz im C-Speicher die Energiesubstitution um rund 20%. Die unterschiedliche Differenz im C-Speicher und bei der energetischen Substitution liegt darin begründet, dass sich die Angaben zur energetischen Substitution auf die in den Bauteilen verbauten Mengen ohne Mengen für den Unterhalt beziehen, wobei die energetische Substitution für die gesamten Mengen Holz inkl. Mengen für den Unterhalt berechnet ist.

In Tabelle 3-6 sind die drei Treibhausgaswirkungen der Gebäude auf die Anrechenbare Geschossfläche (AGF) bezogen. Die AGF wurde ebenfalls aus den Bauplänen der beiden Gebäude grob abgeschätzt.

Tabelle 3-6: Treibhausgaseffekte pro m² Anrechenbare Geschossfläche (AGF) des Ein- bzw. des Mehrfamilienhauses (Bezug 60 Jahre)

		Δ GWP	Δ C-Speicher	Δ Energ. Substitution
	AGF	t CO ₂ -eq./m ² AGF	t CO ₂ -eq./m ² AGF	t CO ₂ -eq./m ² AGF
Einfamilienhaus	203.3	-0.17	0.21	-0.18
Mehrfamilienhaus	1146.5	-0.18	0.36	-0.31
Δ bezogen auf EFH		4%	72%	69%

In diesem Fall unterscheiden sich die Werte der Materialsubstitution nicht signifikant, die Werte für die Differenz im C-Speicher und die energetische Substitution aber überaus deutlich.

Für das Einfamilienhaus bietet sich auch die Möglichkeit, die über die Konstruktionen im Bauteilkatalog errechneten Holzmengen mit denjenigen zu vergleichen, die der Holzbauer in diesem Fall aus seinem CAD entnehmen konnte.

Tabelle 3-7: Vergleich der Angabe zu den verbauten Holzmenngen aus dem CAD des Holzbauers mit den über die Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog abgeleiteten Menge

Holz in Gebäude	Aus CAD m ³	Berechnet nach Bauteilkatalog m ³	Δ
3-Schichtplatten			
Fichte/Tanne	29.39		
Lärche	7.91		
Stangenware			
Fichte/Tanne	15.83		
Lärche	0.27		
Total	53.4	66.47	24.5%

Die über die Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog errechneten Holzmenngen liegen um 25% höher als die Angaben des Holzbauers. Einerseits entspricht die gebaute Holzkonstruktion in Rippenbauweise keiner der im Bauteilkatalog aufgeführten Konstruktionen, weshalb eine Annäherung gemacht werden musste. Dies liegt daran, daß sich die Angaben des Holzbauers ausschliesslich¹⁰ auf den Rohbau beziehen. Die über die Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog hergeleiteten Holzmenngen beinhalten zusätzlich die Fassadenschalung inkl. Lattung, die Lattung unter dem Dachblech sowie die Türblätter. Die ungenaue Repräsentation der Konstruktion im Bauteilkatalog sowie die Vernachlässigung einiger Elemente führt also zu einer signifikanten Unterschätzung der Treibhauswirkung von Holzgebäuden.

3.1.5 Schlussfolgerungen

Die Erfassung der Flächen der Bauteile hat aus verschiedenen Gründen systematische Fehler, etwa bei der Frage, wie abgewinkelte Wände bezogen auf ihr Volumen korrekt ausgemessen werden sollen (Mittellinie, Rauminnen- oder -aussenseite). Weil es sich hier aber um „Musterhäuser“ handelt, die einzig zur Abschätzung von Richtgrössen erfasst werden, ist diese Frage vorerst von untergeordneter Bedeutung. Eine andere Ausführung hätte zwangsläufig auch andere Flächen zur Folge. Es müssen deshalb für die allenfalls zukünftige Erfassung von Häusern „Spielregeln“ aufgestellt werden. Dies gilt auch, was den Bauteilkatalog anbelangt, der gerade im Holzbau bei weitem nicht alle Bauteile umfasst, die zu einer korrekten Erfassung des Holzanteil notwendig wären.

Bei beiden Bauten ist es sehr problematisch, eine Art virtuelles „Gegenhaus“ in einem anderen Baumaterial auszumessen. Im Falle des Mehrfamilienhauses geht es vor allem um die Frage, welche Spannweiten der Böden mit welchen Materialstärken in Holz richtig bemessen würden. Es geht aber auch um die Frage, welche „Leistungen“ ein Bauteile bezüglich Schallschutz und Wärmedämmung erbringt und welche Bauteile in Holz bzw. in konventioneller Ausführung die adäquate Leistung erbringen würden.

Beim Einfamilienhaus, welches die Möglichkeiten des Holzbaues bezüglich der flächigen Tragstruktur von Holzplatten voll ausschöpft, stellt sich die Frage verstärkt. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Bauteile in Beton - nur dieses Material kann in Kombination mit Stahl auf Zug belastet werden - dicker, die Räume deshalb kleiner beziehungsweise das Haus insgesamt grösser würde. Die Durchführung dieser Vergleichsmethode ist ausserordentlich ungenau und müsste im Bedarfsfall um eine echte Planung im jeweilig gegensätzlichen Baumaterial ergänzt werden. Die Ungenauigkeiten in der hier gewählten Vorgehensweise mögen reichen, um Grössenordnungen zu erfassen. Als Methode für eine echte Berechnung in der Praxis ist der Ansatzes des Vergleichs zweier unterschiedlicher Konstruktionsweisen (Holz versus Backstein/Beton) an demselben Projekt keinesfalls geeignet.

¹⁰ zuzüglich „einzelne Simsli und Sturzverkleidungen und die Badewannenverkleidung“.

Es ist insgesamt festzustellen, dass der Aufwand zu Erfassung mit Hilfe von Ausmassen und dem Bauteilkatalog hoch ist. Der Bauteilkatalog deckt bei weitem nicht die Vielfalt des Bauens in Holz ab. Zudem muss ausführlich definiert werden, wie einzelne Bauteile voneinander abgegrenzt werden müssen.

Der Aufwand einer Kontrolle im Sinne einer Verifizierung der ausgeführten Bauweise dürfte ebenfalls hoch ausfallen. Von diesem Standpunkt aus gesehen muss der monetäre Anreiz hoch sein, wenn dieser methodische Ansatz weiter verfolgt werden soll. Es gibt aber andere Wege, um die Menge des verbauten Holzes zu erfassen, etwa über Datenblätter der Holzplaner oder des Zimmermanns in Kombination mit Default Faktoren.

3.2 Objektbezogene Quantifizierung über Default Faktoren

3.2.1 Grundlagen

Eine weitere (vereinfachende) Methode der Abschätzung des Substitutionseffektes eines Gebäudes beruht auf Verwendung von Default Faktoren auf Bauteilebene. Zur Herleitung solcher Default Faktoren wurden die Treibhausgasprofile sämtlicher im Bauteilkatalog hinterlegter Konstruktionen für den Rohbau oberhalb der Bodenplatte plus als Teil des Ausbaus Trennwände und Innentüren herausgelesen und statistisch ausgewertet.

Dabei wurden nur die Standarddimensionierungen und Materialien der einzelnen Konstruktionen berücksichtigt. So wurde z.B. darauf verzichtet, verschiedene Dämmstoffe in demselben Wandaufbau zu berücksichtigen oder die Dimensionierung einzelner Schichten in einer Konstruktion zu verändern.

3.2.2 Ergebnisse

Für mehrere Bauteile sind im Bauteilkatalog umfangreiche Ausführungen dokumentiert, darunter Aussenwände zum Erd- und Obergeschoss, Dächer sowie Böden/Decken/Balkone. Für diese Konstruktionen wurden einerseits Box-Plots erstellt, in denen der Median, die Quartil-Spanne (graue Box) sowie Minimum/Maximum der konventionellen Ausführung bzw. der Ausführung in Holz dargestellt sind. Die Zuordnung zu diesen beiden Arten der Ausführung erfolgte jeweils nach dem verwendeten (tragenden) Hauptmaterial, was impliziert, dass auch in konventionellen Ausführungen Holz (z.B. als Lattung) verwendet werden können.

Aus diesen Daten lassen sich direkt Substitutionsfaktoren für ein Bauteil b ausweisen, z.B. als Differenz der Mittelwerte der Bauteile in konventioneller Ausführung minus die Mittelwerte der Ausführungen in Holz. Weiter wird der Streubereich ersichtlich, mit dem die Treibhausgasprofile der als konventionelle Ausführungen bzw. Ausführungen in Holz belegt sind.

$$\Delta GWP_b = \overline{GWP}_{b,k} - \overline{GWP}_{b,h}$$

Dem gegenübergestellt wurden die Treibhausgasemissionen gegen die Menge in einer Ausführung eingesetzten Holzes aufgetragen. Über eine lineare Regression lässt sich der Substitutionseffekt einer bestimmten Ausführung in Holz über die darin enthaltene Menge Holz im Bezug zu einer Konstruktion ohne Holz bestimmen.

Das GWP eines Bauteils b mit der darin enthaltenen Menge Holz x (kg Holz atro/m^2) berechnet sich:

$$GWP_b(x) = -a_b \times x + b_b$$

Für eine Ausführung ohne Holz ($x=0$) berechnet sich das GWP folglich als:

$$GWP_b(x=0) = b_b$$

und das Substitutionspotential ΔGWP eines Bauteils b mit der darin enthaltenen Menge Holz x (kg Holz atro/m^2) im Vergleich zu einem Bauteil ohne Holz ($x=0$):

$$\Delta GWP_b(x) = -a_b \times x + b_b - b_b = -a_b \times x$$

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse dieser Auswertung graphisch dargestellt. Die Daten finden sich in Tabelle 3-8 bzw. detailliert im Annex 2.

Zu beachten ist, dass bei den Dächern eine Unterscheidung von konventionellen Ausführungen und Ausführungen in Holz nur für Flächdächer sinnvoll ist, denn die im Bauteilkatalog aufgeführten Konstruktionen für Steildächer enthalten alle einen substantiellen Teil an Holz. Hingegen lässt sich durchaus eine Korrelation des Treibhausgaspotentials einer Ausführung in Abhängigkeit des eingesetzten Holzes berechnen.

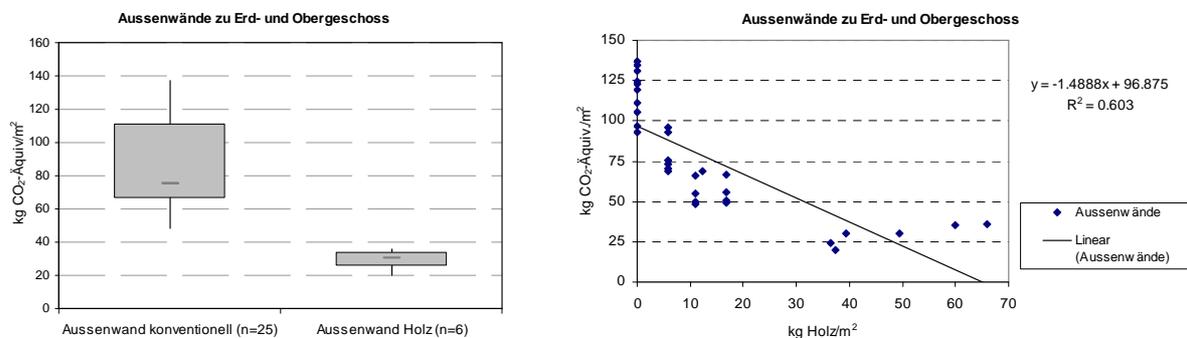


Abbildung 3-7: Median und Streuung der Treibhausgasprofile der Außenwände zum Erd- und Obergeschoß und Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen von der Menge verbautem Holz (atro; ohne Hilfsstoffe) (Quelle: www.bauteilkatalog.ch)

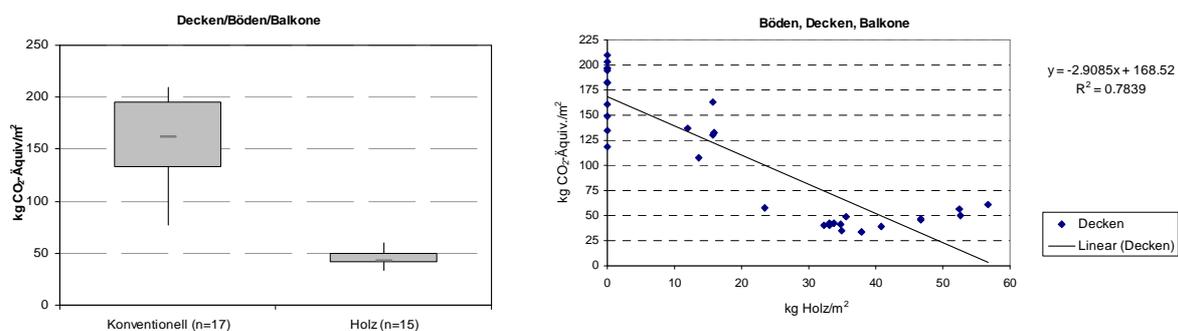


Abbildung 3-8: Median und Streuung der Treibhausgasprofile der Decken/Böden/Balkone und Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen von der Menge verbautem Holz (atro; ohne Hilfsstoffe) (Quelle: www.bauteilkatalog.ch)

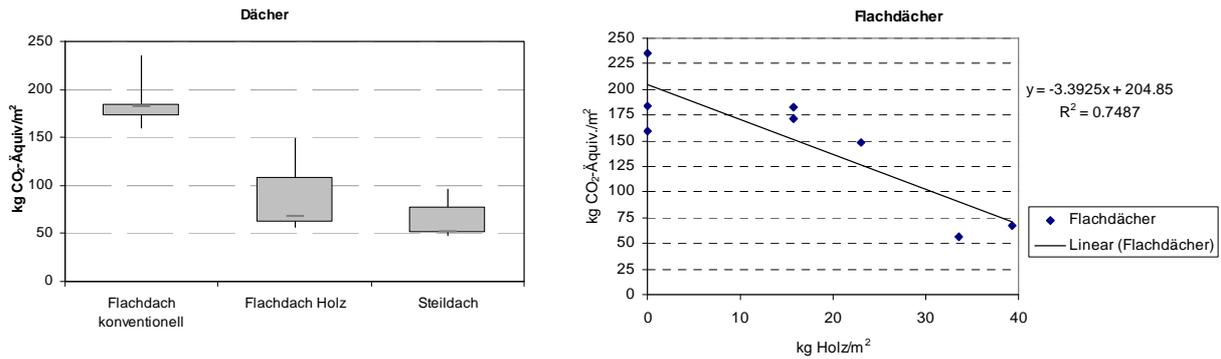


Abbildung 3-9: Median und Streuung der Treibhausgasprofile der Dächer und Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen von Flachdächern von der Menge verbautem Holz (atro; ohne Hilfsstoffe) (Quelle: www.bauteilkatalog.ch)

Aufgrund der geringen Anzahl im Bauteilkatalog erfasster Ausführungen wurde bei einigen Bauteilen auf die Darstellung als Box-Plot verzichtet, dies für Fenster, Treppen und Trennwände im Ausbau. Die Streuung der Daten und die ungefähre Lage der Mediane lässt sich in diesen Fällen leicht aus den Regressionsanalysen abschätzen (Abbildung 3-10).

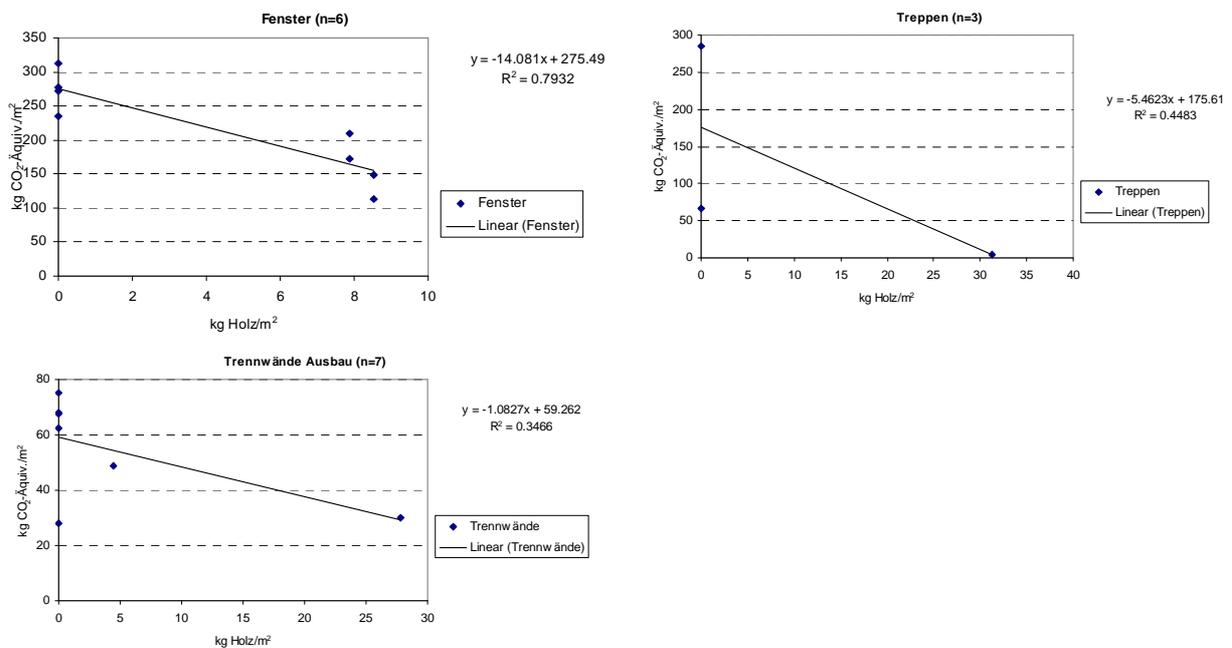


Abbildung 3-10: Fenster, Treppen und Trennwände Ausbau: Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen von der Menge verbautem Holz (atro; ohne Hilfsstoffe) (Quelle: www.bauteilkatalog.ch)

Für die folgenden Bauteile lassen sich aufgrund fehlender oder zu unspezifischer Angaben keine Substitutionspotentiale berechnen:

- Innentüren (keine Unterscheidung von Metall- Holz-Zargen und von Zarge und Türblatt),
- Aussentüren (keine Unterscheidung von Metall- Holz-Zargen und von Zarge und Türblatt),
- Außenwände zu Untergeschoß (keine Holzkonstruktionen).

Die in diesem Kapitel hergeleiteten Default Faktoren sind in Tabelle 3-8 für beide Quantifizierungsansätze zusammengefasst. Die statistischen Grundlagen sind in Annex 2 zusammengestellt.

Tabelle 3-8: Default Faktoren für die Berechnung der Materialsubstitution auf Bauteilebene pro m² Bauteil in Holzbauweise (Mittelwert) bzw. pro kg Holz (atro und ohne Hilfsstoffe) und m² in einem Bauteil

Bezugsgrösse:	m ² Bauteil	kg Holz in m ² Bauteil
	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /(kg Holz x m ²)
Decken/Böden/Balkone	-112.3	-2.9085
Flachdächer	-95.8	-3.3925
Steildächer	_ ¹⁾	_ ¹⁾
Aussenwände EG & OG	-57.2	-1.4888
Aussenwände UG	_ ²⁾	_ ²⁾
Innenwände (tragend)	_ ²⁾	_ ²⁾
Trennwände	-28.2	-1.0827
Fenster	-113.7	-14.0810
Innentüren	_ ³⁾	_ ³⁾
Aussentüren	_ ³⁾	_ ³⁾
Treppen (ohne Keller)	-171.0	-5.4623

¹⁾ im Bauteilkatalog sind keine Konstruktionen ohne substantielle Holzanteile aufgeführt
²⁾ im Bauteilkatalog sind keine Bauteile aus Holz aufgeführt
³⁾ Türblatt und Zargen sind im Bauteilkatalog nicht getrennt aufgeführt

In nächsten Kapitel werden diese Default Faktoren auf die beiden Mustergebäude angewendet und die Ergebnisse der drei Ansätze verglichen.

3.2.3 Anwendung der Default Faktoren auf die Mustergebäude

In Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10 wurde die Materialsubstitution der Mustergebäude auf verschiedene Arten bestimmt:

- Vergleich des Treibhausgaspotentials der Ausführung in Holz mit einer Objekt-spezifisch festgelegten konventionellen Ausführung über die Verwendung (und gegebenenfalls Anpassung) der im Bauteilkatalog aufgeführten Konstruktionen;
- Vergleich der durchschnittlichen Treibhausgasprofile der Holz- bzw. konventionellen Konstruktion je Bauteil über Default Faktoren pro Bauteil basierend auf den Konstruktionen im Bauteilkatalog;
- direkte Berechnung des Substitutionseffektes aus der Menge in der Holzkonstruktion pro m² verbauten Holzes auf Bauteilebene, wobei die Substitutionsfaktoren aus dem Bauteilkatalog über eine lineare Regression bestimmt wurden.

Tabelle 3-9: Berechnung der Materialsubstitution (ΔGWP) des Einfamilienhauses über a) spezifische Alternativen, b) Mittelwerte der entsprechenden Bauteile, und c) über den Substitutionseffekt pro kg Holz und m² in der Holzkonstruktion

	Gesamt-fläche	Holzmenge	Default Faktoren		ΔGWP		
			m ² Bauteil	kg Holz in m ² Bauteil	über Alternative	über DF/Bauteil	über DF, Bauteil und Holzmenge
	m ²	kg Holz atro/m ²	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /(kg Holz x m ²)	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂
Decken/Böden/Balkone	208.1	39.83	-112.33	-2.91	-15.35	-23.38	-24.11
Flachdächer			-95.85	-3.39	-	-	-
Steildächer	116.2	38.23	-1)	-1)	0.00	0.00	0.00
Aussenwände EG & OG	178.03	49.34	-57.21	-1.49	-3.88	-10.18	-13.08
Aussenwände UG			-2)	-2)	-	-	-
Innenwände (tragend)	229.56	28.26	-2)	-2)	-8.68		
Trennwände			-28.22	-1.08	-	-6.48	-7.02
Fenster	49.11	8.50	-113.67	-14.08	-6.03	-5.58	-5.88
Innentüren	38.02	6.68	-3)	-3)	-0.60	-	-
Aussentüren	7.25	7.55	-3)	-3)	0.00	-	-
Treppen (ohne Keller)	30.9	40.91	-171.00	-5.46	-0.98	-5.28	-6.90
Total					-35.52	-50.90	-56.99

Tabelle 3-10: Berechnung der Materialsubstitution (Δ GWP) des Mehrfamilienhauses über a) objektspezifische Alternativen, b) Mittelwerte der entsprechenden Bauteile, und c) über den Substitutionseffekt pro kg Holz und m^2 in der Holzkonstruktion

	Gesamtfläche m^2	Holzmenge kg Holz atro/ m^2	Default Faktoren		t CO ₂ -eq.		
			m^2 Bauteil kg CO ₂ / m^2	kg Holz in m^2 Bauteil kg CO ₂ /(kg Holz x m^2)	über Alternative t CO ₂	über DF/Bauteil t CO ₂	über DF, Bauteil und Holzmenge t CO ₂
Decken/Böden/Balkone	1248.1	147.19	-112.33	-2.91	-75.15	-140.20	-534.32
Flachdächer			-95.85	-3.39	-	-	-
Steildächer	263.9	29.05	-	-	0.00	0.00	0.00
Aussenwände EG & OG	543.7	38.72	-57.21	-1.49	-64.46	-31.10	-31.34
Aussenwände UG	-	-	-	-	-	-	-
Innenwände (tragend)	252.08	5.11	-	-	-2.07	-7.11	-1.40
Trennwände	786.1	27.78	-28.22	-1.08	-28.72	-22.18	-23.65
Fenster	289.5	8.50	-113.67	-14.08	-35.54	-32.91	-34.67
Innentüren	175.8	6.68	-	-	-2.78	-	-
Aussentüren	-	-	-	-	-	-	-
Treppen (ohne Keller)	51.9	0.00	-171.00	-5.46	0.00	0.00	0.00
Total					-208.72	-233.51	-625.37

Bei den Werten für das Einfamilienhaus fällt auf, dass die über Default Faktoren bestimmten Werte relativ ähnlich sind, sich aber deutlich vom Total der objektspezifischen Modellierung unterscheiden. Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Werte beim Mehrfamilienhaus für alle drei Varianten deutlich. Folgende Punkte können festgehalten werden:

- die drei Berechnungsarten weisen auf Bauteilebene sehr ähnliche Resultate auf, wenn a) die Konstruktionen bei der Objekt-spezifischen Modellierung über Alternativen ohne Veränderung aus dem Bauteilkatalog übernommen wurden, und b) wenige Konstruktionen im Bauteilkatalog aufgeführt sind (Fenster);
- die drei Berechnungsarten weisen auf Bauteilebene sehr unterschiedliche Resultate auf, wenn a) Bauteile bei der Objekt-spezifischen Modellierung über Alternativen deutlich verändert wurden (Weglassen von Schichten, Veränderung der Dimensionierung von Schichten), und b) viele Konstruktionen für ein Bauteil im Bauteilkatalog aufgeführt sind (Decken/Böden/Balkone, Aussenwände EG & UG).

Als Folge davon wird z.B. die Materialsubstitution für die Böden/Decken/Balkone des MFH deutlich überschätzt. Bei der Berechnungsvariante über die verbaute Menge Holz kommt zusätzlich hinzu, dass die $150 \text{ kg Holz}/m^2$ der Holzkonstruktion deutlich ausserhalb des Geltungsbereichs der Werte aus der linearen Regression (0 bis $60 \text{ kg Holz}/m^2$) liegen, was es aus statistischer Sicht nicht erlaubt, die Werte der linearen Regression zu verwenden. Auch dürfte die Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen verbautem Holz und dem Treibhauspotential dem Sachverhalt nur bedingt gerecht werden; angemessener wäre wohl die Annahme eines parabolischen Verlaufes, was entsprechende Datentransformation notwendig machen würde.

Dies ist insgesamt ein überaus unbefriedigender Befund, da die im Bauteilkatalog zahlreich repräsentierten Bauteile – Böden/Decken/Balkone und Aussenwände – für den Grossteil des Materialsubstitutionseffekte eines Gebäudes verantwortlich sind.

- die Repräsentanz der Holzkonstruktionen im Bauteilkatalog ist für einige Bauteile ungenügend. So ist z.B. keine Holzkonstruktion für tragende Innenwände aufgeführt.

3.2.4 Schlussfolgerungen

Folgende methodische Schlussfolgerungen lassen sich aus der Herleitung der Default-Faktoren sowie aus deren Anwendung auf die Mustergebäude aus Kapitel 3.1 ziehen:

- Wie aus den Treibhausprofilen der Mustergebäude ersichtlich wurde (s. Kapitel 3.1), sind die Aussenwände zu Erd- und Obergeschoss, Böden/Decken/Balkone, Innenwände und Fenster für das Substitutionspotential eines Gebäudes massgebend. Zu den Aussenwänden und Böden/Decken/Balkone sind umfangreiche Ausführungen im Bauteilkatalog dokumentiert und entsprechend die Datenlage befriedigend – zumindest aus statistischer Sicht.

Für Flachdachkonstruktionen stehen ebenfalls Daten (aus statistischer Sicht) in befriedigenden Umfang zur Verfügung, wohingegen bei Ausführung eines Steildaches kaum relevante Unterschiede beim Substitutionseffekt von konventionellen Bauten

bzw. Holzbauten auftreten dürften, da die Ausführungen in der Regel in beiden Fälle ähnlich sein dürften.

Unbefriedigend ist die Datenlage jedoch bei den Innenwänden, da insbesondere für tragende Anwendungen keine Ausführungen in Holz im Bauteilkatalog hinterlegt sind. Diese müssten ergänzt werden, wenn eine Quantifizierung des Substitutionseffektes dieses Bauteils über Default Faktoren erfolgen sollte.

Allerdings ist auch die Datenlage bei nichttragenden Innenwände (zwar besser aber) eher dünn, was auch für Fenster gilt. Auch hier müssten noch Anstrengungen zur Verbesserung der Datenlage unternommen werden, wenn eine Quantifizierung des Substitutionseffektes dieses Bauteils über Default Faktoren erfolgen sollte.

- Die Errechnung des Effektes der Materialsubstitution über Default-Faktoren – sei es auf Bauteilebene, sei es über die Menge eingesetztes Holz – vereinfacht sich gegenüber der Berechnung über eine Objekt-spezifische konventionelle Variante deutlich. Letztlich müssen „nur“ die relevanten Bauteile – Aussenwände mit und über Erdgeschoss (ohne Fenster), Innenwände tragend, Innenwände nicht tragend, Fenster plus evt. Flachdach ausgemessen werden, was allerdings schon mit einem gewissen zeitlichen Aufwand verbunden und nur basierend auf Konventionen zur Ausmessung möglich ist.

Im Falle der Berechnung über die in einer Konstruktion eingesetzten Menge Holz muss zusätzlich für die konkrete Ausführung die Menge der pro m² eingesetzten Holzprodukte und deren Holzgehalt (atro) errechnet werden. Aber auch der „reine“ Holzgehalt einer Konstruktion kann über Default Faktoren zu Feuchtegehalten und zum Anteil an Hilfsstoffen einfach berechnet werden (s. z.B. Annex 1).

Die entsprechenden Werte können danach mit den Default Faktoren in Tabelle 3-8 multipliziert werden, um das objektspezifische Potential der Materialsubstitution zu errechnen.

- Beide Ansätze liessen sich einfach in benutzerfreundlichen Berechnungs-Tools umsetzen, sei es web-basiert als Teil eines „Programmes“ einer Agentur, sei es als Excel-spreadsheet.
- Die Verwendung von auf dem Mittelwert beruhenden Default Faktoren hat den Nachteil, dass innerhalb der Holzkonstruktion kein „Verbesserungspotential“ über eine Mehrverwendung von Holz besteht, da sämtliche Holzkonstruktionen mit demselben Default Faktor verrechnet würden.

Alternativ wäre es denkbar, die Treibhausgasemissionen einer Holzkonstruktion (über 60 Jahre) spezifisch zu bestimmen und dann einem Default Faktor für die Treibhausgasemissionen für konventionelle Ausführungen gegenüberzustellen. Dies würde aber bereits einen grösseren Aufwand für die „Ökobilanzierung“ sämtlicher Bauteile eines Hauses bedeuten, der in Analogie zu dem methodischen Ansatz aus Kapitel 3.1 zumindest teilweise über den elektronischen Bauteilkatalog – oder einem daraus hergeleiteten elektronischen tool erfolgen könnte. Im Gegensatz zum im Kapitel 3.1 beschriebenen Vorgehen müsste aber kein hypothetisches Gebäude in konventioneller Ausführung hergeleitet werden.

- Die Default Faktoren bieten theoretisch die Möglichkeit, Substitutionseffekt für Halbfertigfabrikate zu berechnen, dies unter Berücksichtigung durchschnittlicher Verluste bei der Verarbeitung/Montage und der Lebensdauer der Schichten¹¹ sowie unter der Voraussetzung, dass prozentual die Einsatzgebiete im Gebäude bekannt sind.
- Aus praktischer Sicht ist die Datengrundlage für beide Berechnungsvarianten über Default Faktoren noch ungenügend, was je nach Berechnungsvariante zu sehr unterschiedlichen Werten für die Materialsubstitution führt. Folgende Ergänzungen sind nötig, um verlässlichere Grundlagen für die Bestimmung der Default Faktoren zu erlangen:

¹¹ die Default Faktoren pro kg Holz in einem Bauteil beziehen sich auf eine Lebensdauer von 60 Jahre, was den Ersatz bestimmter Schichten – oft z.B. der Täfelung nach 40 Jahren – bedingt. Für Holz im Unterhalt ist folglich keine weitere Substitution zu berücksichtigen.

- Ergänzung der Bauteile des Bauteilkatalogs um repräsentative aktuelle Holzkonstruktionen, insbesondere für tragende Innenwände,
 - Festlegung der funktionalen Anforderungen je Bauteil, konstruktionsspezifische Dimensionierung und Berechnung des Treibhausgaspotentials dieser funktional gleichwertigen Konstruktionen¹²,
 - Festlegung des Gültigkeitsbereiches der Default Faktoren; gegebenenfalls Bestimmung des Substitutionspotentials über Default Faktoren soweit möglich und ergänzend spezifische Bestimmung über objektspezifische Alternativen,
 - Versuchsweise Auswertung der Treibhausgasprofile auf Bauteilebene über Annäherung an Parabel statt über eine lineare Regression.
- Für sämtliche auf dem Bauteilkatalog beruhenden Berechnungen ist die Datenqualität der hinterlegten Ökobilanzdaten von ausschlaggebender Bedeutung. Dies bedeutet einerseits eine periodische Aktualisierung der Baustoffdaten in ecoinvent als Ökobilanzdatengrundlage des Bauteilkatalogs, der raschen Übernahme aktualisierter ecoinvent-Daten in den Bauteilkatalog sowie eine periodische Anpassung der im Bauteilkatalog aufgeführten Konstruktionen an die aktuellen material- und bautechnischen Gegebenheiten.
 - Bei allen Substitutionsberechnung bzw. bei deren Inwertsetzung ist zu berücksichtigen, dass ein Teil dieser Substitutionseffekte im Ausland anfällt. Dies kommt daher, dass z.T. der Import von Substituten ersetzt wird (der Substitutionseffekt also im Ausland auftritt) bzw., dass bei inländischer Produktion der Substitute zumindest derjenige Substitutionseffekt im Ausland auftritt, der dem Import von Hilfs- und Zusatzstoffen bzw. der Gewinnung, Raffinierung und internationalem Transport fossiler Energieträger zuzuordnen ist. Dies ist allenfalls beim Entwurf eines Inwertsetzungsschemas zu berücksichtigen, dass den Beitrag der Materials substitution direkt mit einem (nationalen) Anrechnungsschema oder Zertifizierungssystem verknüpfen will.

3.3 Bilanzierung nationaler Holzverwendungsszenarien

Die Treibhausgaswirkung verschiedener Waldbewirtschaftungs- und Holznutzungsszenarien wurde in Taverna *et al.* 2007 untersucht. Dabei wurden sowohl die Entwicklung der C-Lager im Wald als auch im Gebäudepark sowie die Effekte der Materials substitution und energetischen Substitution aus der energetischen Nutzung von Wald-, Rest- und Altholz betrachtet. Die in dieser Studie untersuchten Szenarien sind in Tabelle 3-11 zusammengefasst.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Baseline bzw. die Additionalität der Treibhausgaswirkung durch einen Mehrverbrauch von Holz festzulegen, z.B. als:

- Holzverbrauch in einem Referenzjahr
- Prognose des Holzverbrauchs als Trendextrapolation (also bezogen auf eine heutige Zunahme des Holzverbrauchs)
- Prognose des Anteils des Holzbaus an der Bauwirtschaft (also bezogen auf eine heutige Zunahme des Holzverbrauchs unter Berücksichtigung der Entwicklung der Bauwirtschaft)

¹² Es ist hier anzumerken, dass sich z.B. bei den Böden/Decken/Balkonen die Mittelwerte der Konstruktionen für innen-innen, beheizt-unbeheizt und innen-aussen um nur $\pm 5\%$ unterscheiden.

Tabelle 3-11: Charakterisierung der in Taverna et al. 2007 untersuchten Szenarien (Quelle: Werner et al. 2009)

	Referenzjahr 2000	Zuwachs optimiert		Kyoto-optimiert	Business-as-usual ("Baseline")	Verminderte Wald- bewirtschaftung
		Konstruktion	Energie			
Waldbewirtschaftung						
Ziel		Nutzung des maximalen Zuwachses		Nutzung des maxi- malen Zuwachses über dem Kyoto 'cap'	Fortsetzung gegen- wärtiger Prinzipien der Waldbewirt- schaftung	Maximale C Senke im Wald
Prinzipien		Reduzierte Durchforstung, regional optimierte Rotati- onsperioden, ausgegli- chene Altersklassenvertei- lung		Reduzierte Durch- forstung, regional opti- mierte Rotationsperioden, ausgeglichene Al- tersklassenverteilung, C-Senkenzuwachs bis zum anrechenbaren Kyoto-"cap"	Fortsetzung gegen- wärtiger Prinzipien der Waldbewirtschaf- tung zwischen NFI I und NFI II	Minimale Waldbewirt- schaftung, besonders im Schutzwald
Holznutzung	5.4 Mio. m ³ ¹⁾	+70 %		+60 %	+10 %	- 45%
Holzverwendung						
Prinzipien		Stoffliche Ver- wendung in langlebigen (Bau-) Pro mit anschlies- sender ener- getischer Nutzung	Stark ge- steigerte (direkte) ener- getische Nutzung	Stoffliche Verwendung in langlebigen (Bau-) Produkten mit an- schliessender ener- getischer Nutzung	Extrapolation ge- genwärtiger Verbrauchsmuster	Signifikante Reduktion der stofflichen und energetischen Ver- wendung von Holz
Holzprodukte	2.5 Mio. m ³	+80%	+/- 0%	+80%	+20%	-25%
Energieholz	1.3 Mio. m ³	+120%	+340%	+65%	+20%	-80%
Aussenhandel						
Import	1.4 Mio. m ³					
Export	2.2 Mio. m ³		+/- 0%	+/- 0%	+/- 0%	+/- 0%

¹⁾ Extrapolation der Schweizer Forststatistik (BfS/BUWAL 2000), inklusive Derbholz (d > 7 cm); Wurzelstöcke, Rinde und 14 % der Mortalität bleiben ungenutzt im Wald

In obiger Studie wurde das Jahr 2000 als Referenzjahr angenommen. Aus den Graphiken lässt sich aber auch die Wirkung des Szenarien im Vergleich zum „Baseline“-Szenario herauslesen, dass unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Trends der Holzverwendung und des Bausektors festgelegt wurde.

In dieser Untersuchung wurden sowohl klimarelevante Effekte der Wald- und Holznutzung unterschieden, die in der Schweiz bzw. im Ausland auftreten. Im Folgenden werden der Effekt der Materialsubstitution der Szenarien im Inland sowie der C-Speichereffekt im Inland¹³ dargestellt.

Nutzungsänderungen im Zivilisationskreislauf wirken sich aufgrund der langen Verweilzeiten des verbauten Holzes bis rund 2130 aus. Anschliessend sind die Holzflüsse in und aus den Lagern im Fließgleichgewicht¹⁴, d.h. es fliesst gleichviel Holz in ein Lager hinein wie hinaus. Die Lagerveränderungen streben dann gegen Null (vgl. Abbildung 3-11).

¹³ Bilanziert nach dem „stock-change“-approach

¹⁴ es wird angenommen, dass die Charakteristika der Szenarien im Jahr 2030 erreicht sind und danach keine Änderungen mehr auftreten.

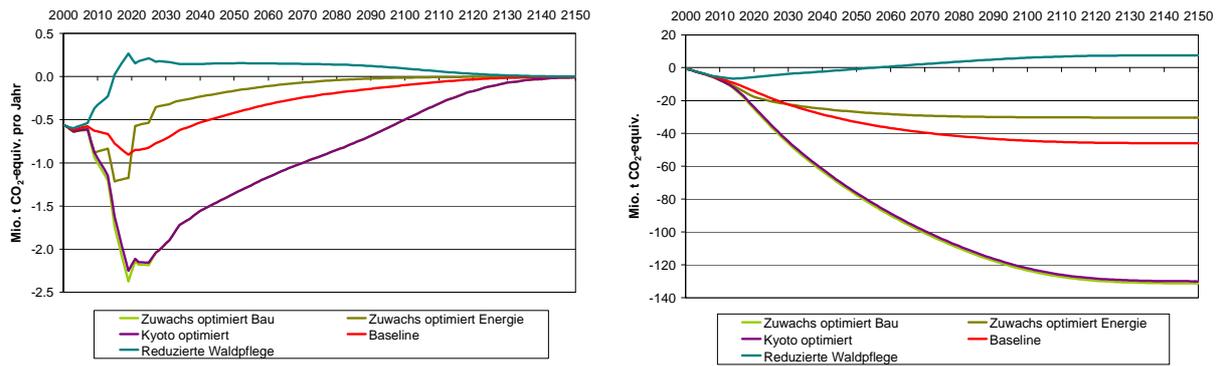


Abbildung 3-11: Jährliche (links) und kumulierte (rechts) C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf

Die Bau-Szenarien führen erwartungsgemäss zu den grössten Lagerveränderungen im Zivilisationskreislauf. Infolge des verringerten Holzverbrauchs schneidet hier das Szenario *Reduzierte Waldpflege* mit Abstand am schlechtesten ab. Gegenüber dem Jahr 2000 nimmt das Holzlager im Zivilisationskreislauf sogar ab. Es resultiert also eine CO₂-Quelle. Infolge des konstanten Holzverbrauchs im Bauwesen weist auch das Energie-Szenario gegenüber den Bau-Szenarien einen wesentlich schlechteren CO₂-Effekt auf.

Mit dem Referenzjahr 2000 kumuliert sich das maximale CO₂-Einspar-Potenzial durch eine C-Lagerbildung im Gebäudepark bei den Bau-Szenarien bis ins Jahr 2150 auf rund 130 Mio. t CO₂. Die grössten Effekte resultieren um das Jahr 2020 mit maximal 2.5 Mio. t CO₂-Bindung pro Jahr. Das entspricht rund 4.5% der heutigen jährlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz.

Wird das „Baseline“-Szenario als Referenz gewählt, so kumuliert sich die Differenz der Bau-szenarien auf ca. 85 Mio. t. CO₂ bei einem maximalen Effekt von ca. 1.5 Mio. t um das Jahr 2020.

Aufgrund des Imports und Exports von Rundholz, Halbfertigfabrikaten und fertigen Holzprodukten setzt sich der inländische Materialsubstitutionseffekt aus vier Untereffekten zusammen:

1. *Den Substitutionseffekten der inländischen Produktion und Entsorgung im Inland*, d.h. wenn inländische Nicht-Holz-Produkte durch Holzprodukte ersetzt werden,
2. *Den Substitutionseffekten aus der Weiterverarbeitung und Verwendung von importierten Holzprodukten*, d.h. den Effekten, die auftreten, wenn anstelle inländischer Nicht-Holz-Produkte importiertes Rundholz, teilverarbeitete und fertige Holzprodukte eingesetzt werden,
3. *Den Substitutionseffekten der Exporte im Inland*, d.h. den Emissionen, die bei der Produktion der zu exportierenden Produkte auftreten,
4. *Den Transportemissionen für die Exporte ins Ausland*, welche als Modellannahme der Schweiz zugerechnet werden (im Gegensatz zu den Transportemissionen der Importe).

Die ersten beiden Untereffekte bewirken eine CO₂-Reduktion, während aus den letzten beiden zusätzliche CO₂-Emissionen resultieren. Weil die ersten beiden Untereffekte durchwegs grössere CO₂-Effekte bewirken, resultieren in der Summe für alle Szenarien CO₂-Einsparungen (Abbildung 3-12).

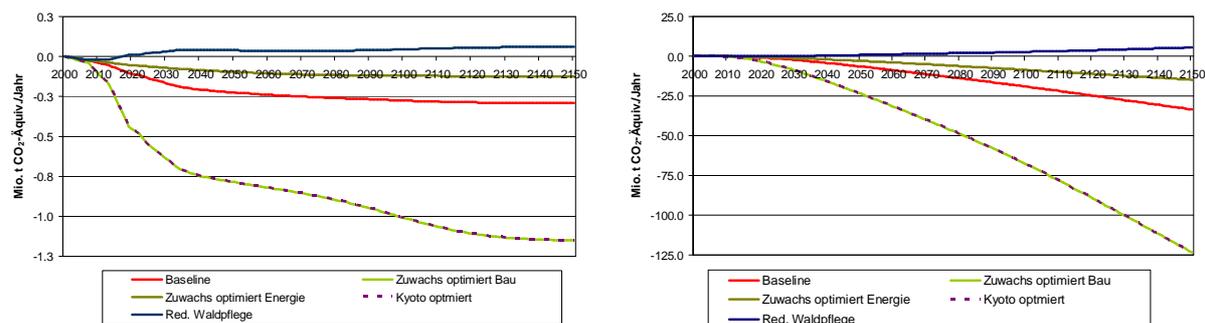


Abbildung 3-12: Jährlicher (links) und kumulierter (rechts) Effekt der Materialsubstitution im inländischen Zivilisationskreislauf

Bei der materiellen Substitution schneiden die Bau-Szenarien deutlich am besten ab, weil hier die grössten Anteile an Nicht-Holz-Produkten durch Holzprodukte ersetzt werden. Die Szenarien *Zuwachs optimiert, Bau* und *Kyoto optimiert* liefern infolge des identischen Holzverbrauchs im Bauwesen dieselben Resultate. Die geringsten CO₂-Einsparungen resultieren aufgrund des geringsten Holzverbrauchs im Bauwesen beim Szenario *Reduzierte Waldpflege*.

Die maximal mögliche CO₂-Äquivalent-Einsparungen – mit den Bau-Szenarien – summieren sich mit dem Referenzjahr 2000 bis ins Jahr 2096 auf rund 70 Mio. t und bis 2150 auf rund 125 Mio. t¹⁵. Der grösste jährliche Einspar-Effekt tritt gegen Ende des Betrachtungszeitraumes mit rund 1.2 Mio. t CO₂-Äquivalent auf (ca. 2% der heutigen CO₂-Äquivalent-Emissionen der Schweiz), wobei die Zunahme der jährlichen Substitutionseffekte ab 2030 deutlich zurückgeht.

Nimmt man das Baseline-Szenario als Referenzszenario, so summieren sich die CO₂-Äquivalent-Einsparungen auf rund 50 Mio. t und bis 2150 auf rund 95 Mio. t. Auch bei dieser Betrachtungsweise tritt der grösste jährliche Einspar-Effekt gegen Ende des Betrachtungszeitraumes mit rund 0.9 Mio. t CO₂-Äquivalent auf, wobei auch hier die Zunahme der jährlichen Substitutionseffekte ab 2030 deutlich zurückgeht.

Dies gilt in beiden Fällen, weil ab 2030 der Holzverbrauch als konstant betrachtet wird. Danach ändern sich nur noch die Emissionswerte aus der Entsorgung. Mit dem Erreichen des Lagergleichgewichtes um das Jahr 2130 verläuft dann auch die Summe der jährlichen Materialsubstitution konstant.

Es bleibt anzumerken, dass die in Taverna *et al.* 2007 betrachteten, hier diskutierten Bau-Szenarien einen zwar als realistisch angenommenen aber deutlichen Wechsel der politischen Rahmenbedingungen für die Verwendung von Holz voraussetzen. Wie diese Rahmenbedingungen konkret zu gestalten wären, lassen die Autoren der Studie aber offen. Das heisst, dass das in den Bau-Szenarien ausgewiesene Potential nicht als gegeben vorausgesetzt werden kann: schliesslich werden diese Potentiale nur realisiert, wenn eine Steigerung des Holzverbrauchs im Gebäudepark um 80% im Vergleich zu Jahresverbrauch 2000, also von rund 2.5 Mio. m³ auf rund 4.5 Mio. m³ Holz pro Jahr bis ins Jahr 2030 erreicht wird.

3.4 Verrechnung von Materialsubstitution und C-Speicherung

Bis heute sind verschiedene Ansätze entwickelt worden, um den Effekt der Materialsubstitution mit dem temporären Effekt der C-Speicherung zu verrechnen. Diese Verrechnung beruht in der Regel auf Äquivalenzfaktoren, die sich mit Bezug auf die Treibhausgaswirkung von 1 t CO₂ über 100 Jahre herleiten lassen:

¹⁵ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

- PAS2050, Annex B: der Äquivalenzfaktor berechnet sich in Abhängigkeit der Speicherdauer bezogen auf einen vordefinierten Untersuchungsrahmen von 100 Jahren ab Herstellung des Produktes:

Für Emissionen zwischen $2 < t_0 < 25$ Jahren nach Herstellung des Produktes:

$$\ddot{\text{Äquivalenzfaktor}}_{t_0 < 25} = \frac{0.76 \times t_0}{100}$$

mit:

t_0 Anzahl Jahre zwischen der Emission und der Herstellung des Produktes

Bzw. generell:

$$\ddot{\text{Äquivalenzfaktor}}_{\text{generell}} = \frac{\sum_{i=1}^{100} x_i}{100}$$

mit:

i Jedes Jahr, in dem Emissionen entstehen

x Anteil an den Gesamtemissionen, der in jedem der Jahre i freigesetzt werden

- Moura-Costa und Wilson 2000 haben einen Äquivalenzfaktor berechnet, den sie über die Verweildauer und Zerfallsmuster von CO_2 in der Atmosphäre berechnen – also dem absoluten „Global Warming Potential“. Den Äquivalenzfaktor für den Speichereffekt von 1 t CO_2 über ein Jahr beziffern sie mit 0.0182 t CO_2 /Jahr.

Während der PAS 2050 als Vornorm öffentlich anerkannt ist, kommt dem Ansatz von Moura-Costa und Wilson 2000 bis heute kein offizieller Status zu. Es wird bei der Kombination der Quantifizierungsansätze mit den Vermarktungsstrategien zu diskutieren sein, ob und wie die Materialsubstitution mit dem C-Speichereffekt verrechnet werden soll.

4 Monetarisierung

In den folgenden Kapiteln werden basierend auf den Ergebnissen der objektspezifischen Modellierung von je zwei Alternativen in der Ausführung und basierend auf dem Szenarienvergleich das ökonomische Potential für die direkte Inwertsetzung der Material- (und energetischen) Substitution sowie der Differenz des C-Speichers dargestellt.

Damit ist über den zu erwartenden Erlös – vorerst unabhängig vom Weg der Inwertsetzung und unabhängig von der Frage, welche Effekte evt. in welcher Kombination vermarktet werden sollen – nicht zuletzt der Rahmen für den Aufwand vorgegeben, der für die Erfassung der Substitutions- und Lagereffekte maximal betreiben werden sollte.

4.1 Monetarisierung der objektbezogenen Bilanzierung

In Tabelle 4-1 ist der Erlös in Abhängigkeit des Preises pro t CO₂ für die Materialsubstitution, die energetische Substitution aus der thermischen Verwertung des Altholzes sowie der Differenz der C-Lager für das Ein- und das Mehrfamilienhaus berechnet. Die Berechnungen beruhen auf den Ergebnissen der Objekt-spezifischen Quantifizierung der Treibhausgaseffekte über die Definition von zwei Ausführungsvarianten.

Tabelle 4-1: Erlös in Abhängigkeit des Preises pro t CO₂ für die Materialsubstitution, die energetische Substitution aus der thermischen Verwertung des Altholzes sowie der Differenz der C-Lager für das Ein- und das Mehrfamilienhaus, basierend auf den Berechnungen in Kap. 3.1.

Einfamilienhaus

Erlös (Gebäude)			
Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	355	431	371
12	426	517	445
15	533	646	556
20	710	861	741
50	1'776	2'154	1'853
120	4'262	5'169	4'447

Erlös (pro t Holz (atro))

Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	11.8	14.4	12.4
12	14.2	17.2	14.8
15	17.8	21.5	18.5
20	23.7	28.7	24.7
50	59.2	71.8	61.8
120	142.1	172.3	148.3

Erlös (pro m² Anrechenbare Geschossfläche)

Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	1.7	2.1	1.8
12	2.1	2.5	2.2
15	2.6	3.2	2.7
20	3.5	4.2	3.6
50	8.7	10.6	9.1
120	21.0	25.4	21.9

Mehrfamilienhaus

Erlös (Gebäude)			
Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	2'087	4'170	3'526
12	2'505	5'003	4'231
15	3'131	6'254	5'289
20	4'174	8'339	7'052
50	10'436	20'848	17'630
120	25'047	50'035	42'312

Erlös (pro t Holz (atro))

Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	8.7	17.4	14.7
12	10.5	20.9	17.7
15	13.1	26.1	22.1
20	17.5	34.9	29.5
50	43.6	87.2	73.7
120	104.7	209.2	176.9

Erlös (pro m² Enrechenbare Geschossfläche)

Preis (CHF)	GWP	C-Speicher	Energ. Substitution
CHF/t CO ₂ -eq.	CHF	CHF	CHF
10	1.8	3.6	3.1
12	2.2	4.4	3.7
15	2.7	5.5	4.6
20	3.6	7.3	6.2
50	9.1	18.2	15.4
120	21.8	43.6	36.9

12 CHF/t CO₂ entsprechen dem gegenwärtigem Preis im European Trading System ETS

Bei einem Preis von 12 CHF/t CO₂, dem gegenwärtigen Preis pro t CO₂ im European Trading System, wird ersichtlich, daß sich der potentielle Erlös in einer Größenordnung bewegt – insbesondere, wenn man sich auf einen der drei Effekte konzentriert – der kaum eine detailliertere Analyse (z.B. die Definition eines konventionellen Referenzgebäudes) erlauben würde. Dies gilt sowohl für das Einfamilien- wie auch für das Mehrfamilienhaus.

Zumindest beim Einfamilienhaus würde sich der Aufwand einer detaillierteren Berechnung z.B. des Effektes der Materialsubstitution, selbst bei 120 CHF/t CO₂ angesichts des zu erwartenden Erlöses kaum lohnen.

Beim Mehrfamilienhaus liegt der Erlös der Materialsubstitution bei diesem Preisniveau in einer Größenordnung, bei der sich absolut betrachtet der Aufwand einer detaillierteren Berechnung¹⁶ lohnen – zumindest nicht a priori ausschliessen - würde. Angesichts der Gesamtkosten eines Mehrfamilienhauses dürfte der von diesem Projekt angestrebte „pull-effect“ dieses Erlöses für eine gesteigerte Holzverwendung aber gering sein.

Bricht man obige Zahlen nun auf Bauteil- bzw. Holzprodukteebene herunter, so ergibt sich bei der Materialsubstitution ein Erlös von 8 CHF bis 140 CHF pro t Holz, bzw. 0.8 bis 14 Rp/kg Holz (atro). Selbst unter der zusätzlichen (evt. anteilmässigen) Anrechnung des C-Lager-effektes würde dieser Betrag kaum ausreichen, um z.B. in einem Do-it Geschäft einen massgeblichen preislichen zusätzlichen Anreiz für die Verwendung von Holz zu schaffen.

Aufgrund dieser Zahlen müssen auch Ansätze zu Inwertsetzung der Treibhauswirkung von Holz kritisch hinterfragt werden, bei denen über eine nationale Baseline (s. Kap. 5.1.1) die Treibhauswirkung zusätzlicher („additionaler“; s. Kap. 5.1.2) Holzbauten vermarkten werden sollen, da sich der Erlös pro Gebäude/pro Einwohner/pro Tonne verbautes Holz/etc. nochmals deutlich reduzieren und damit die Transaktionskosten (Definition der Baseline, Berechnung der Treibhauswirkung, Verwaltung, Verteilung des Erlöses) deutlich erhöhen würden.

Auch scheint es fraglich, ob über eine „Weiterreichung über die Holzkette“ von Zertifikaten bzw. von Verbilligungen der Forst- und Holzprodukte durch Erlöse aus der Senkenwirkung im Wald und die Speicherwirkung der Holzprodukte, bzw. aus der Materialsubstitution ein „pull-effect“ beim Endkunden für eine gesteigerte Holzverwendung tatsächlich realisiert werden kann.

4.2 Monetarisierung der Szenarienbetrachtung

In Kapitel 3.3 wurde ausgehend von den Ergebnissen der Untersuchung von Taverna *et al.* 2007 der inländische Effekt der Materialsubstitution und der C-Lagerwirkung verschiedener Holznutzungsszenarien dargestellt. Dabei wurden zwei Fälle diskutiert: a) die Effekte mit den Effekten im Jahr 2000 als Baseline, und b) das *Baseline*-Szenario („Business-as-usual“) als Referenzszenario. Für beide Fälle sind im Folgenden für das wirkungsvollste (optimistische) Bauszenario *Zuwachs optimiert, Bau* die zu erwartenden Erlöse in Abhängigkeit von verschiedenen Preisen pro t CO₂ dargestellt.

Auch in dieser Szenarienbetrachtung wird die Monetarisierung ohne Bezug zu einem allfälligen Inwertsetzungsansatz dargestellt. Sowohl die vermarktbareren Effekte wie die angenommenen Preise sind also rein indikativ.

In Abbildung 4-1 ist der jährlicher Erlös aus der Materialsubstitution für das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* (Zunahme der Holzverwendung um 80%) im Bezug auf das Referenzjahr 2000 (links) bzw. im Bezug auf das *Baseline*-Szenario (rechts) dargestellt.

¹⁶ unter Annahme von 2 – 4 Tagen Aufwand für Berechnung, Dokumentation, Einspeisung in ein Zertifizierungssystem und Verifizierung

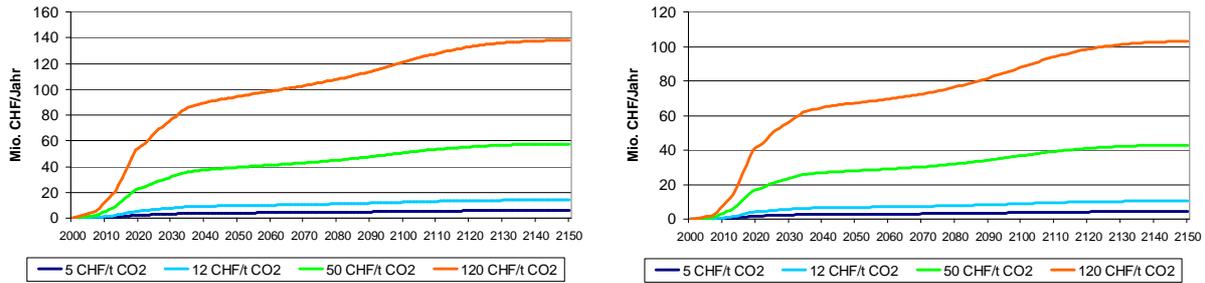


Abbildung 4-1: Jährlicher Erlös aus der Materialsubstitution für das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* (Zunahme der Holzverwendung um 80%) im Bezug auf das Referenzjahr 2000 (links) bzw. im Bezug auf das *Baseline*-Szenario (rechts) (Quelle: eigene Berechnungen)

Nimmt man die Effekte der Materialsubstitution im Jahr 2000 als Referenz, so bewegt sich der zu erwartende Erlös zwischen 10 Mio. CHF und 140 Mio. CHF, dies bei einer angenommenen (optimistischen!) Steigerung der Holzverwendung von 80% auf ca. 4.5 Mio. t Holz pro Jahr, eine Menge, die als Szenarioannahme im Jahr 2030 erreicht und ab dann als konstant angenommen wird. Dieser Erlös lässt sich aber erst in einigen Jahrzehnten erzielen, wenn diese Holzmengen auch tatsächlich verwendet werden. Die Steigerung der Materialsubstitution nach 2030 ist auf den Substitutionseffekt bei der Entsorgung (ohne Gutschriften aus der energetischen Verwertung) zurückzuführen.

Geht man vom *Baseline*-Szenario als „Business-as-usual“-Szenario und Referenz aus, so bewegt sich der zu erwartende Erlös zwischen 8 Mio./Jahr CHF und 100 Mio. CHF/Jahr.

In Abbildung 4-2 ist der jährlicher Erlös aus der (zusätzlichen) C-Speicherung für das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* (Zunahme der Holzverwendung um 80%) im Bezug auf das Referenzjahr 2000 (links) bzw. im Bezug auf das *Baseline*-Szenario (rechts) dargestellt.

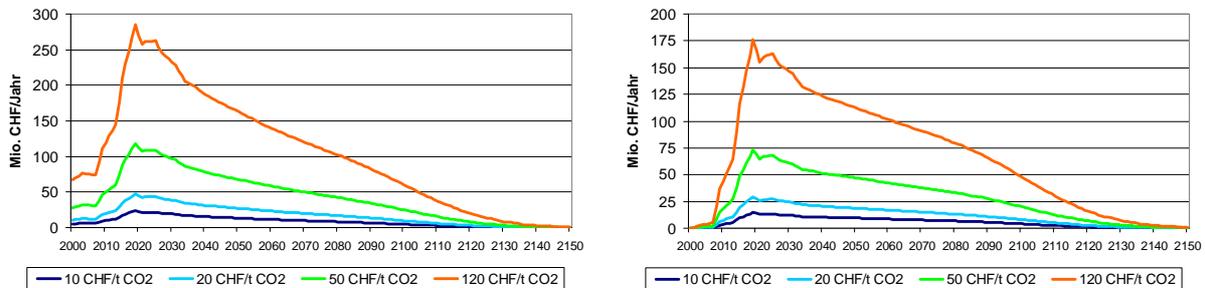


Abbildung 4-2: Jährlicher Erlös aus der (zusätzlichen) C-Speicherung für das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* (Zunahme der Holzverwendung um 80%) im Bezug auf das Referenzjahr 2000 (links) bzw. im Bezug auf das *Baseline*-Szenario (rechts) (Quelle: eigene Berechnungen)

Geht man vom Basisjahr 2000 als Referenz aus, so lassen sich für das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* je nach Preis pro t CO₂ maximal 25 Mio bis 270 Mio. CHF erzielen, dies im Moment, wo erstmals der vom Szenario vorgegebenen maximale Holzverbrauch von 4.5 Mio m³/Jahr erreicht wird. Die Erlöse aus dem Aufbau des C-Lagers reduzieren sich in dem Sinn, wie sich die Holzlager in Folge der unterschiedlichen Verweildauern dem Fließgleichgewicht nähern. Im Gegensatz zum Effekt der Materialsubstitution, sinkt der C-Lagereffekt bei gleichbleibender Holzverwendung nach Erreichen des Fließgleichgewichtes auf Null.

Geht man vom *Baseline*-Szenario als Referenz aus, so lassen sich für das Szenario „Zuwachs optimiert“ je nach Preis pro t CO₂ maximal 13 Mio bis 175 Mio. CHF erzielen, dies

auch hier im Moment, wo erstmals der vom Szenario vorgegebenen maximale Holzverbrauch von 4.5 Mio m³/Jahr erreicht wird.

Es lohnt sich auch, die Zahlen im Bezug zu den längerfristig in diesem Szenario verwendeten Holzmengen von 4.5 Mio. m³/Jahr zu setzen. Damit liegt der maximale Erlös pro m³ aus dieser Szenarienbetrachtung bei der Materialsubstitution je nach Preis pro t CO₂ in der Grössenordnung von 1 CHF/m³ Holz und 30 CHF/m³.

Der Effekt der zusätzliche C-Speicherung liegt demnach je nach Preis pro t CO₂ maximal in der Grössenordnung von 3 CHF/m³ Holz und 63 CHF/m³.

Bei der Bewertung dieser Zahlen gilt es aber zu bedenken, dass das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* ein überaus optimistisches Szenario darstellt, für welches die politischen Rahmenbedingungen noch zu schaffen wären.

5 Beschreibung verschiedener Inwertsetzungsansätze

Im Folgenden werden verschiedene Inwertsetzungsansätze vorgestellt und ihre Anwendbarkeit diskutiert, darunter CO₂-Zertifikate, CO₂-Label, Förderbeiträge aus dem revidierten CO₂-Gesetz oder eine Verminderung des MWSt-Satzes für Holzprodukte als Anerkennung ihres Beitrages zum Klimaschutz.

5.1 CO₂-Zertifikate

Zertifikate-Lösungen zur Minderung von Luftverschmutzung und insbesondere zur Reduktion der Emissionen klimarelevanter Gase sind im nationalen und internationalen Rahmen verschiedentlich umgesetzt¹⁷.

In diesem Forschungsprojekt sollen primär verschiedene Möglichkeiten einer sektoriellen Bewertung der Klimaleistung von Holzprodukten evaluiert werden, dies im Gegensatz zu nationale bzw. transnationalen Emissionshandelssystemen. Während letztere auf dem cap-and-trade-Prinzip beruhen – also auf der Festlegung von Emissionszielen und der Vergabe und dem Handel von Emissionsrechten – basieren die hier anvisierten sektoriellen Lösungen eher auf einem projekt-basierten Mechanismus, wie er z.B. CDM- oder JI Projekten oder den freiwilligen Verpflichtungen von Firmen im Rahmen des CO₂-Gesetzes¹⁸ zu Grunde liegt. Es ist selbstverständlich nicht ausgeschlossen, eine sektorielle Lösung z.B. über eine „Holz-Agentur“ in Analogie zur bereits bestehenden „Energieagentur“ an ein nationales CO₂-Zertifikatehandelssystem zu koppeln.

In projekt-basierten Projekten sind zwei Begriffe fundamental: „Additionalität“ und die „Baseline“.

5.1.1 Baseline

Als Baseline wird gemeinhin das Szenario verstanden, das eintreten würde, wenn ein Klimaprojekt nicht durchgeführt würde. Das Baselineszenario ist also das Referenzszenario, gegen welches die Treibhausgaswirkung des Projektes verrechnet wird.

5.1.2 Additionalität

Das Prinzip der Additionalität besagt, daß nur treibhausrelevante Leistungen erfaßt werden, die über das Niveau der Baseline hinausgehen. Somit ist das Prinzip der Additionalität eng mit dem Begriff der Baseline, bzw. mit dem Betrachtungsrahmen und der Systemgrenze verknüpft, unter denen die Baseline definiert wird.

Im Hinblick auf die hier zu diskutierenden sektoriellen Zertifikatslösungen sind bei der Additionalität verschiedene Aspekte zu unterscheiden:

Umweltliche Additionalität: Es werden nur treibhausrelevante Wirkungen – Emissionsreduktion bzw. Senkeneffekte – angerechnet, die über das in der Baseline festgelegte Niveau hinausgehen.

Darüber hinaus besagt das Additionalitätsprinzip, daß ein Projekt nicht durchgeführt würde, wenn der Erlös aus den Klimazertifikaten dies nicht erst ermöglichen würde, das Projekt also nicht sowieso – unabhängig von Klimaerwägungen oder den finanziellen Anreizen der Zertifikate – durchgeführt würde (und somit die Baseline wäre):

¹⁷ BAFU 2009

¹⁸ Bundesgesetz vom 8. Oktober 1999 über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) (SR 641.71); http://www.admin.ch/ch/d/sr/c641_71.html

Finanzielle Additionalität: Das Projekt ohne den Erlös aus den Zertifikaten wäre als Investition uninteressant, z.B. gemessen an einer branchenüblichen Internen Rückzahlungsrate (IRR).

Additionalität durch das Überkommen von Hemmnissen: Die Additionalität eines Projektes kann auch darin bestehen, daß technische, administrative, organisatorische, soziale u.a.m. Hemmnisse überwunden werden, an denen ein Projekt ohne Klimazertifikate scheitern würde.

Je nach Betrachtungsrahmen und Systemgrenzen können die Baseline und die Additionalität eines Projektes sehr unterschiedlich interpretiert werden, nämlich:

- Objekt-bezogene Betrachtungsweise,
- Nationale Betrachtungsweise.

5.1.3 Zertifikate: Objekt-bezogene Betrachtungsweise

Bei einer Objekt-bezogenen Betrachtungsweise wird der einzelne Bauherr betrachtet, der vor der Entscheidung steht, ein Haus mit einer Primärstruktur aus Holz oder konventionell aus Beton, Backstein oder Stahl zu bauen.

Die konventionelle Ausführung wird dabei als Baseline angesehen. Der Effekt der Materialsubstitution (und des Senkeneffektes) wird entweder über eine Objekt-spezifische Modellierung oder über Defaultfaktoren bestimmt (s. dazu Kap. 3).

Die Gestehungskosten von Holzbauten im Rohbau sind in der Regel leicht teurer als konventionelle Ausführungen. Hinzu kommt, dass der Baumarkt in der Schweiz von Generalunternehmen dominiert ist, die stark preissensitiv sind. Der Erlös aus dem Verkauf von Zertifikaten müsste also – zumindest aus methodischer Sicht – in etwa die Preisdifferenz zwischen Holzbau und konventioneller Ausführung ausgleichen können.

Die finanzielle Additionalität eines Projektes könnte über die Bestimmung des Gegenwartswertes („net present value“) oder den Internen Zinsfluss („Internal Rate of Return“) bestimmt werden. Liegt der entsprechende Wert des als Benchmark verwendeten Parameters unter Berücksichtigung der Variabilität relevanter Berechnungsparameter unterhalb des Benchmarks, so gilt das Projekt als finanziell additional.

Holzbauten können (neben anderen Leichtbauweisen mit Stahl- oder Aluminiumrahmen) aber bereits heute aus Kostengründen attraktiv sein an Standorten mit erschwerter Zufahrt oder bei Bauten, die eine rasche Bauweise erfordern (Alphütten/Berghütte), oder sie können aus denkmalschützerischen oder baurechtlichen Gründen zwingend erforderlich sein. In diesen Fällen kommt keine konventionelle Alternative in Frage. Diese Bauten wären somit auch nicht „additional“ und könnten entsprechend keine Zertifikate erzeugen.

Neben dem Aufwand für die Quantifizierung des Effektes der Materialsubstitution (und des C-Lagereffektes) sind auch die Kosten der Verifizierung bzw. des Monitorings zu berücksichtigen, damit sichergestellt ist, dass der ausgeführte Bau auch der Ausführung entspricht, für die Zertifikate emittiert wurden.

Aus administrativer und institutioneller Sicht lässt sich festhalten, dass der Wert eines Zertifikates aus der Materialsubstitution (und C-Speicherleistung) davon abhängen wird, ob und wie diese Zertifikate in bestehende Zertifizierungsschemata integriert werden könnten. Mehrere Möglichkeiten sind denkbar:

A. Verknüpfung mit CO₂-Gesetz

Im Vordergrund steht dabei das vom Bund im Rahmen des CO₂-Gesetzes mögliche Handeln von CO₂-Emissionszertifikaten. In Analogie zur Energieagentur könnte also eine „Holz-

agentur“ gegründet werden, welche als Mittler zwischen Bund und Bauherrschaft für das Einrichten und Betreiben eines Emissionssystems von CO₂-Zertifikaten aus dem Holzbau fungieren würde.

Im Gegensatz zu den über die Energieagentur eingegangenen Reduktionsverpflichtungen bräuchte und könnte die „Holzagentur“ keine eigentlichen Reduktionsverpflichtungen eingehen (da sie analog zur Energieagentur Substitutionsverpflichtungen verwalten würde!), sondern könnte die anfallenden Zertifikate direkt auf den Markt bringen. Potentielle Käufer wären Firmen, welche eingegangene Reduktionsverpflichtungen nicht erfüllen können.

Aus methodischer Sicht muss bei einer Verknüpfung mit den im CO₂-Gesetz vorgesehenen Mechanismen aber einschränkend festgehalten werden:

- C-Speichereffekte im Gebäude sind im CO₂-Gesetz nicht vorgesehen; der Klimateffekt von Holzbauten würde sich auf die Materialsubstitution beschränken; der Einbezug der energetischen Substitution erscheint wenig sinnvoll, da sich hier Überschneidungen mit Zertifikaten aus der Umstellung von fossilen Anlagen auf Altholz ergeben könnten und eine Abgrenzung zu aufwendig erscheint, um Doppelzählungen zu vermeiden.
- Das CO₂-Gesetz beschränkt sich auf die direkten Emissionen aus der Nutzung von Brenn- und Treibstoffen. Sogenannte Upstream-Emissionen aus der Herstellung fossiler Energieträger (die im Ausland anfallen) werden nicht berücksichtigt. Auch dürfen Substitutionseffekte im Ausland in einem nationalen System nicht verrechnet werden. Dadurch würde sich der Effekt der Materialsubstitution aus Kap. 3 bzw. der zu erzielende Erlös aus Kap. 4 um mindestens 20% reduzieren¹⁹.
- Der mit diesen Zertifikaten verbundene Reduktionseffekt lässt sich als Substitutionseffekt nicht direkt in das nach Sektoren gegliederte Nationale Treibhausgasregister übertragen, da die Substitutionseffekte durch verminderte Emissionen in verschiedenen Sektoren auftreten würden. Aus dieser Sicht reduziert der Effekt der Materialsubstitution die Nationale Treibhausgasbilanz indirekt.
- Auf politischer Ebene erscheint das Durchsetzen eines solchen Ansatzes aus Gründen der Konkurrenz unter den Herstellern von Bauprodukten als wenig wahrscheinlich. Theoretisch könnte es immerhin zu der Situation kommen, dass Hersteller von Bauprodukten, die ihre Reduktionsverpflichtungen nicht erfüllen, Zertifikate aus der Substitution ihrer Produkte kaufen könnten/müssten. Daraus könnte sich letztlich auch für die Holzindustrie ein Imageproblem ergeben.

B. Verknüpfung mit Freiwilligen Schemata

Auch wäre es möglich, die Zertifikate aus der Materialsubstitution bzw. C-Speicherung von Holzprodukten über freiwillige Schemata zu vermarkten, also z.B. über www.myclimate.org, Voluntary Carbon Standards (VCS), etc. Diese freiwilligen Schemata würden eine grössere methodische Flexibilität erlauben, also z.B. den Einbezug von Materialsubstitution plus C-Speicherung von Holz, Anrechnung des gesamten (internationalen) Substitutionseffektes etc.

Unseres Wissens sehen zwar einzelne Schemata die C-Speicherung in Holzprodukten explizit vor (z.B. die VCS in Kombination mit Forstprojekten), Effekte der Materialsubstitution sind aber bis heute in keines der Schemata integriert. Entsprechende Verhandlungen wäre zu führen und Methoden der Bilanzierung zu entwickeln.

C. Zertifikate der Holzindustrie

Grundsätzlich wäre es denkbar, ein sektorielles Zertifikatesystem als Ergänzung zu den bestehenden Freiwilligen Schemata zu entwickeln. In einem solchen System würde eine „Holzagentur“ die methodischen Grundlagen zur Bilanzierung entwickeln und überwachen sowie die resultierenden Zertifikate verwalten und vermarkten.

¹⁹ Taverna *et al.* 2007

Dieser Ansatz bietet am meisten Flexibilität bei der Ausgestaltung der Bilanzierungsregeln; die Vermarktbarkeit der Zertifikate würde aber entscheidend von einer breit abgestützten Trägerschaft, einem aufwendigen Marketing und – letztlich – der Glaubwürdigkeit des Systems abhängen.

Mögliche Kunden wären:

- Käufer auf dem freiwilligen Markt
- Der Bund im Sinne einer leistungsabhängigen Holzförderungs- und Klimapolitik, z.B. in Analogie zu den Direktzahlungen für ökologische Ausgleichsleistungen in der Landwirtschaft.

In Tabelle 5-1 werden die diskutierten Zertifikatelösungen aus Objekt-spezifischer Betrachtungsweise bewertet.

Tabelle 5-1: Bewertung der Zertifikatelösungen aus Objekt-spezifischer Betrachtungsweise

Bewertung der Zertifikatelösungen aus Objekt-spezifischer Betrachtungsweise		
<i>Nicht zielführend</i>	<i>Neutral</i>	<i>Zielführend</i>
Quantifizierung		
Zu a) – Aufwendige Berechnungen bei der Durchbilanzierung von 2 Gebäudevarianten – Problematische Definition der Baseline Zu b) – Bestimmung von Default Parametern z.Z. kritisch	Zwei Ansätze möglich: a) Durchbilanzierung zweier Gebäudevarianten b) Berechnung über Default Faktoren	– Die Berechnung der Substitutions- und gegebenenfalls C-Lagereffekte könnte über Berechnungstools vereinfacht werden – Verwendung von Default Parametern möglich
Inwertsetzung		
– Zusätzliche Kosten des Monitorings/der Verifizierung	Drei Ansätze möglich: a) Verknüpfung mit CO ₂ -Gesetz b) Integration in bestehende Schemata c) Zertifikate der Holzindustrie Erlös hängt stark von institutioneller Lösung und von Art der Quantifizierung ab: a) > b) >/< c)	– Monetarisierung über den Verkauf von Zertifikaten – Bestehende nationale und internationale Erfahrungen mit Zertifikaten
Verteilung		
– Hohe Transaktionskosten; zu verteilender Betrag pro Objekt bezogen auf die Baukosten gering	– Rückverteilung an Bauherrschaft möglich – Direkte Verwendung des Erlöses durch eine „Holzagentur“ politisch kaum durchsetzbar angesichts der grossen Aufwendungen zur Quantifizierung	– Web-basierte Lösungen möglich (s. ENAW)
Umsetzung		
– Lösungen auf Gebäudeebene möglicherweise nicht kostendeckend – Effekt der Materialsubstitution kann im Nationalen Treibhausgasregister nicht verbucht werden Bezogen auf die Inwertsetzungsansätze: Zu a) – Wünschenswert aber politisch kaum durchsetzbar	– Umsetzung am ehesten über eine „Holzagentur“	– Labelling als zusätzliches Instrument zu einer Zertifikatelösung denkbar Bezogen auf die Inwertsetzungsansätze: Zu b) – Höherer Erlös möglich durch Kombination von Materialsubstitution plus C-Lagereffekt Zu c) – Rückkauf durch Bund möglich, z.B. als leistungsabhängige Di-

Bewertung der Zertifikatelösungen aus Objekt-spezifischer Betrachtungsweise		
Nicht zielführend	Neutral	Zielführend
– Beschränkung auf Effekt der Materialsubstitution; C-Lager werden vom CO ₂ -Gesetz nicht anerkannt Zu b) – Umsetzung hängt von Akzeptanz durch bestehende Schemata ab Zu c) – Akzeptanz auf freiwilligem Markt fraglich; evt. Imageproblem für Holzindustrie		rektzahlungen zur Förderung der Holzindustrie und Klimaschutz
– Zu erwartender „pull-effect“ für eine Mehrverwendung von Holz eher gering, da sämtliche Lösungen auf Objektebene nach Abzug der Transaktionskosten kaum einen finanziellen Anreiz bieten.	Wirkung/Akzeptanz Sämtliche Lösungen müssen politisch durchgesetzt werden. Erwartete Durchsetzbarkeit: 1) Sektorielle Zertifikate-Lösung mit Aufkauf durch Bund 2) Sektorielle Zertifikate-Lösung für freien Markt 3) Integration in bestehende Schemata 4) Verknüpfung mit CO ₂ -Gesetz	– Medienwirksame Umsetzung möglich

5.1.4 Zertifikate: Nationale Betrachtungsweise

Bei der nationalen Betrachtungsweise wird nicht jedes Gebäude einzeln bilanziert. Statt dessen wird die Treibhausgaswirkung des Holzverbrauchs auf nationaler Ebene betrachtet. Um dem Kriterium der Additionalität Genüge zu tun, kann bei einem solchen Ansatz nur der Mehrverbrauch von Holz im Vergleich zu einem Bezugsjahr bzw. Referenzszenario zu Zertifikaten führen. Dies gilt sowohl für den Effekt der Materialsubstitution als auch für die C-Speicherung.

Der Mehrverbrauch an Holz im Vergleich zu einem Referenzjahr lässt sich relativ einfach – wenn auch nicht zwingend genau – über nationale Statistiken des Bundes erheben. Die Bilanzierung der Veränderung der Holzlager ist aber mit einigen methodischen Fragestellungen behaftet, wie sie seit ein paar Jahren intensiv im Rahmen der Post-Kyoto Verhandlungen diskutiert werden. Auch ist zu berücksichtigen, dass die C-Lager in der Technosphäre nicht nur von der Menge des verwendeten Holzes abhängen (Input), sondern auch von der Menge Holz, die die C-Lager verlassen (Output).

Ein allfälliger Einbezug von C-Lagern in Holzprodukten in das Nationale Reporting und Accounting unter einer Post-Kyoto Lösung wird sich wahrscheinlich an der nächsten COP/MOP in Kopenhagen entscheiden. Es erscheint sinnvoll, einen allfälligen im Rahmen der UNFCCC ausgehandelten Beschluss zur Anrechnung der C-Lagerwirkung von Holzprodukten auch in einer Zertifikate-Lösung innerhalb der Schweiz zu übernehmen. Um die C-Lagerung in Holzprodukten auf nationaler Ebene auch tatsächlich vermarkten zu können, wird das gegenwärtig zu revidierende CO₂-Gesetz entsprechend anzupassen sein.

Schwieriger erscheint die Quantifizierung des Effektes der Materialsubstitution auf nationaler Ebene, d.h. auf der Basis von Halbfertigfabrikaten und ohne Bezug zu spezifischen Bauobjekten. Grundsätzlich ist es möglich, über Szenarien zum Holzverbrauch und den daraus resultierenden Holzflüssen und unter Annahmen zu alternativen Produkten Default Faktoren

für den globalen bzw. inländischen Effekt der Materialsubstitution herzuleiten²⁰. Diese Default Faktoren werden aber immer so spekulativ sein wie die Annahmen, auf denen sie beruhen. Dies bedeutet, dass die Errechnung des Effektes der Materialsubstitution auf nationaler Ebene letztlich auf Konventionen beruhen würde.

Neben der eigentlichen Quantifizierung auf nationaler Ebene müssen folgende Aspekte beachtet sein:

- Wie bei den Zertifikaten aus einer Objekt-spezifischen Betrachtungsweise sieht das CO₂-Gesetz weder eine Anrechnung der C-Speicherung in Holzprodukten noch des Effektes der Materialsubstitution vor. Hinzu kommt, dass der Effekt der Materialsubstitution nicht als solcher im Nationalen Treibhausgasinventar dokumentiert wird, ein System für CO₂-Zertifikate für Holzprodukte also nur indirekt an das Nationale Treibhausgasinventar angeknüpft wäre. Deshalb erscheinen die gesetzlichen Grundlagen für die Umsetzung eines Zertifizierungssystems der Treibhausgaswirkung von Holzprodukten auf nationaler Ebene nicht gegeben.
- Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Baseline bzw. die Additionalität der Treibhausgaswirkung durch einen Mehrverbrauch von Holz festzulegen, z.B. als:
 - Holzverbrauch in einem Referenzjahr
 - Prognose des Holzverbrauchs als Trendextrapolation (also bezogen auf eine heutige Zunahme des Holzverbrauchs)
 - Prognose des Anteils des Holzbaus an der Bauwirtschaft (also bezogen auf eine heutige Zunahme des Holzverbrauchs unter Berücksichtigung der Entwicklung der Bauwirtschaft)

Je nach gewähltem Ansatz unterscheidet sich die Menge an Zertifikate deutlich. Der zu wählende Ansatz kann nur politisch festgelegt werden.

- Unabhängig von der Art der Festlegung der Baseline kann der Holzverbrauch in Zukunft auch unter die Werte der Baseline fallen. Entsprechend sind Verantwortlichkeiten festzulegen. Dies kann auch beinhalten, dass sich die „Holzagentur“ verpflichtet, in einem solchen Fall Reduktionsleistungen als Zertifikate auf dem Markt zuzukaufen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, dieses Risiko abzufedern, z.B. über eine Versicherung, den Rückbehalt von Zertifikaten als „Puffer“, einen finanziellen „Puffer“ durch den Rückbehalt eines Teils des Erlöses aus dem Verkauf der CO₂-Zertifikate u.a.m. Letztlich resultieren sämtliche Lösungen in einer zusätzlichen zumindest kurz- bis mittelfristigen Verringerung der für Projektarbeiten zur Verfügung stehenden Mittel. Die Verwendung der Mittel bei Auflösung des „Puffers“ wäre zusätzlich zu lösen.
- Die Beschränkung auf die zusätzlich verbaute Menge Holz für die Berechnung der zusätzlichen C-Speicherwirkung und der Materialsubstitution verringert den zu erwartenden Erlös bezogen auf eine Objekt-bezogene Quantifizierung stark. Entsprechend erscheint eine Rückverteilung des Erlöses aus einem nationalen Zertifizierungssystem an die Erbauer von Holzhäusern als unpraktikabel. Entsprechend müsste der Erlös aus dem Verkauf von Zertifikaten über eine „Holzagentur“ über Dienstleistungen (Finanzierung von Schulungen, Forschungsprojekten, etc.) an die Holzindustrie bzw. an die Erbauer von Holzhäusern zurückfließen. Die resultierenden legalen Fragen zum Eigentum der Zertifikate könnten in Analogie zu Lösungen für die Entschädigung der Waldbesitzer für die Senkenleistung ihres Waldes geklärt werden.
- Grundsätzlich käme auch die Integration eines nationalen Ansatzes an bestehende Zertifizierungsschemata in Frage. Wie beim Objekt-bezogenen Ansatz sind diese Möglichkeiten direkt mit den entsprechenden Trägerorganisationen zu klären. Aufgrund des Abstraktionsgrades dieser Art von Bilanzierung ist diese Option aber eher skeptisch zu beurteilen.

In Tabelle 5.2 werden die diskutierten Zertifikatelösungen aus nationaler Betrachtungsweise bewertet.

²⁰ Taverna *et al.* 2007

Tabelle 5-2: Bewertung der Zertifikatelösungen aus nationaler Betrachtungsweise

Bewertung der Zertifikatelösungen auf Objekt-spezifischer Betrachtungsweise		
Nicht zielführend	Neutral	Zielführend
Quantifizierung		
<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung von repräsentativen Default Parametern aufwendig und auf Konventionen beruhend - Verschiedene Baselines möglich - Anspruch der Additionalität verringert Menge der Zertifikate deutlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Berechnung der Materialsubstitution über Default Faktoren - Berechnung der C-Lagerveränderung über nationale Statistiken 	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung von Default Parametern möglich und nötig - Keine aufwendige Objektbezogene Bilanzierung nötig
Inwertsetzung		
<p>Zu a):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gesetzliche Grundlagen für Einbezug von C-Lagern bzw. Substitutionseffekten nicht gegeben <p>Zu b):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ansatz zu komplex für bestehende Schemata 	<p>Zwei Ansätze möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Verknüpfung mit CO₂-Gesetz b) Integration in bestehende Schemata 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Verifizierung/kein Monitoring möglich/nötig
Verteilung		
<ul style="list-style-type: none"> - Keine Rückverteilung an Bauherrschaft möglich - Direkte Verwendung des Erlöses durch eine „Holzagentur“ politisch kaum durchsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - „Holzagentur“ als administrative Drehscheibe 	<ul style="list-style-type: none"> - Direkte projektbezogenen Förderung der Holzverwendung möglich (Förderung von Forschungsprojekten, Schulung, etc.)
Umsetzung		
<ul style="list-style-type: none"> - Politische Akzeptanz fraglich - evt. Imageproblem für Holzindustrie - Bei nationaler Lösung müssten zuerst rechtliche Grundlagen geschaffen werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung am ehesten über eine „Holzagentur“ 	
Wirkung/Akzeptanz		
<ul style="list-style-type: none"> - Zu erwartender „pull-effect“ für eine Mehrverwendung von Holz sehr gering, da nicht Marktrelevant 		<ul style="list-style-type: none"> - Indirekte Wirkung über Bereitstellung von Mitteln zur Förderung der Holznutzung

5.2 Carbon Footprinting

Die Berechnung und Kommunikation des Carbon footprints – des Kohlenstoff Fussabdrucks eines Produktes - ist in den letzten Jahren in Mode gekommen. Insbesondere kundennahe Produkte wie Lebensmittel tragen u.a. im Frankreich oder Grossbritannien ein CO₂-Label mit der Angabe, wieviel CO₂-Emissionen mit der Herstellung dieses Produktes verbunden sind. Zumindest beim Englischen Programm (www.carbontrust.com) geht mit dem Vergabe des Labels die Verpflichtung des Herstellers einher, den carbon footprint in den folgenden zwei Jahren nach Vergabe des Labels zu reduzieren (Abbildung 5-1).

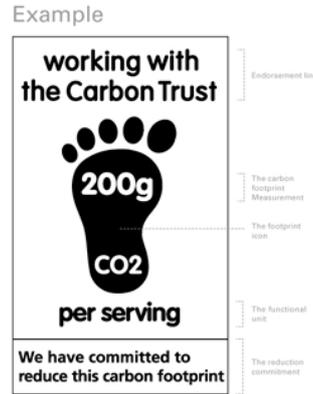


Abbildung 5-1: Beispiel eines „carbon footprint“ von carbontrust, basierend auf der PAS 2050 (Quelle: www.carbontrust.com)

Methodisch bestehen bei der Berechnung des carbon footprints allerdings einige offene Fragen, und die Angaben von verschiedenen Programmen sind, da nach verschiedenen Regeln berechnet, nicht vergleichbar. Neben auch aus der Ökobilanzierung bekannten methodischen Fragen der Systemabgrenzung und Allokation unterscheiden sich die unterschiedlichen Programme auch dahingehend, dass z.B. nur CO₂ als treibhausrelevantes Gas betrachtet wird oder alle treibhausrelevanten Gase, oder dass der C-Speichereffekt von Holz berücksichtigt oder nicht berücksichtigt wird.

Im internationalen Kontext sind zwei Regelwerke zu erwähnen:

- die Publically Available Specification PAS 2050 (BSI 2008), eine englische Vornorm zum Carbon footprinting, sowie
- die Normungsaktivitäten des ISO TC 207/SC 7 zur Norm ISO/NP 14067-1 carbon footprinting – quantification.

Insbesondere die PAS 2050 ist für Holzprodukte interessant, da neben den Treibhausgasemissionen aus der Herstellung, Nutzung und Entsorgung auch die Speicherung von Kohlenstoff in biogenen Materialien berücksichtigt wird. Dazu wird ein Äquivalenzfaktor für den Speichereffekt definiert, der in Abhängigkeit der Zeit der Verweilzeit des C im Speicher variiert (s. Kap. 3.4). Ebenfalls berücksichtigt wird die energetische Substitution am Ende des Lebenszyklus von Holzprodukten. Nicht berücksichtigt sind hingegen die Effekte der Materialsubstitution.

Mit diesen Rechenregeln stellt die PAS 2050 eine für Holzprodukte geeignete international anerkannte Basis für die Berechnung von carbon footprints dar .

Untersuchungen zur Akzeptanz von Labels (von Holzprodukten) durch Konsumentinnen und Konsumenten haben u.a. folgendes ergeben (Teisl *et al.* 2002):

- Umweltlabels sind selten kaufentscheidend, sie erhöhen das Bewusstsein für umweltbezogene Problemfelder,
- Labels sollten standardisiert sein, um einen Vergleich zu erlauben,
- Der Verweis auf eine glaubwürdige Trägerorganisation mit Telefonnummer oder web-link sowie die Verfügbarkeit des Vergabestandards stärken das Vertrauen in ein Label,
- Eine Verknüpfung mit der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung als Hauptanliegen von KonsumentInnen im Bezug auf Holzprodukte ist sehr erwünscht,
- Verschiedene Ansprüche bestehen hinsichtlich des Inhaltes von Labels. Wichtig erscheint ein numerisches oder graphisches Rating, solange auch die Möglichkeit gegeben wird, Produkte direkt zu vergleichen,

- „Überladene“ Labels werden ignoriert. Allerdings besteht auch hier kein Konsensus, was „überladenen“ Labels sind: Labels mit fünf Indikatoren werden üblicherweise als „überladen“ wahrgenommen,
- Labels werden häufiger wahrgenommen für „billige“ Massenprodukte (wie Papier) oder für Produkte mit einem direkten Umweltbezug (wie Vogelhäuschen); sie werden kaum wahrgenommen bei selten gekauften, teureren Produkten wie Möbeln,
- Kampagnenarbeit zur Bekanntmachung des Labels und seiner Trägerorganisation ist essentiell für die Akzeptanz des Labels bei Konsumentinnen und Konsumenten,
- Neue Label sollten in Zusammenarbeit mit Konsumentenorganisationen entwickelt werden, bzw. deren Akzeptanz vor Lancierung geprüft werden.

Eine Label-Lösung in der Art des carbon footprinting ist wie folgt zu bewerten (Tabelle 5-3):

Tabelle 5-3: Bewertung des Label-/Carbon footprinting-Ansatzes

Bewertung des Label-/Carbon footprinting Ansatzes		
Nicht zielführend	Neutral	Zielführend
<ul style="list-style-type: none"> - Aufwendige Berechnungen Zu b): - Problematische Definition der Baseline 	<p>Quantifizierung</p> <p>Zwei Varianten denkbar:</p> <p>a) Carbon footprint als Ausdruck des <i>GWPs</i> über den Lebenszyklus eines Produktes, evt. inkl. C-Speicherung (s. PAS 2050)</p> <p>b) Carbon footprint als Ausdruck des <i>Substitutionseffektes</i> über den Lebenszyklus eines Produktes, evt. inkl. C-Speicherung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - die Berechnung des Carbon footprints könnte über mehrere sub-sektorielle carbon calculators für Firmen vereinfacht werden.
<ul style="list-style-type: none"> - Keine Monetarisierung der Treibhausleistung von Holzprodukten 	<p>Inwertsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Label schaffen einen eher ideellen Anreiz - International Erfahrungen zur Umsetzung und Regelwerk (für Variante a)) vorhanden
	<p>Verteilung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nichtmonetärer Ansatz; keine Verteilung 	
	<p>Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keine direkte Anbindung an ein Zertifikatesystem oder ans Nationale Treibhausgasinventar - Labelling als zusätzliches Instrument zu einer Zertifikatelösung denkbar. 	
<ul style="list-style-type: none"> - Zu erwartender „pull-effect“ für eine Mehrverwendung von Holz eher gering 	<p>Wirkung/Akzeptanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sektorspezifische Lösung insbesondere für Variante b) denkbar; Akzeptanz bei KonsumentInnen offen; Variante b) sektorübergreifend auf nationaler Ebene kaum akzeptabel - Sektorübergreifende Lösung für Variante a) möglich (s. PAS 2050) und nur national/transnational sinnvoll 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilisierung von KonsumentInnen für die günstigen Klimaeigenschaften von Holz

5.3 Förderbeiträge

Die Revision des CO₂-Gesetzes hätte die Möglichkeit geboten, über die Teilzweckbindung der CO₂-Abgaben gezielt den Holzbau zu fördern, mit folgenden Vorteilen:

- Keine direkte Quantifizierung der Treibhausgaswirkung von Holzprodukten nötig.
- Indirekter Nachweis der positiven Eigenschaften der Holzverwendung z.B. über vergleichende Ökobilanzen würde genügen²¹, um die Förderwürdigkeit von Projekten zur Förderung der Holznutzung zu belegen.
- Unter den Prämissen des Vorschlags zur Revision des CO₂-Gesetzes wären sämtliche Projekte zur Förderung der Holznutzung förderungswürdig (keine Bestimmung einer Baseline, keine Additionalität). Allerdings dürfte der Nachweis der Förderwürdigkeit dieser Projekte muss im CO₂-Gesetz bzw. in einer Verordnung noch spezifiziert werden.

Eine Lösung über Förderbeiträge ist wie folgt zu bewerten (Tabelle 5-4):

Tabelle 5-4: Bewertung des Ansatzes über Förderbeiträge

Bewertung des Ansatzes über Förderbeiträge		
<i>Nicht zielführend</i>	<i>Neutral</i>	<i>Zielführend</i>
	Quantifizierung	
	– Keine direkte Quantifizierung notwendig (im CO ₂ -Gesetz zu spezifizieren)	
	Inwertsetzung	
	– Keine direkte Inwertsetzung	
	Verteilung	
	– Verteilung über Förderbeiträge aus Lenkungsabgaben aus dem CO ₂ -Gesetz	
	Umsetzung	
– Zweckgebundene Verwendung der Lenkungsabgabe politisch umstritten		Einfache Umsetzung basierend auf einer allfälligen Revision des CO ₂ -Gesetzes
	Wirkung/Akzeptanz	
– Zu erwartender „pull-effect“ für eine Mehrverwendung von Holz sehr gering, da nicht Markt-relevant		– Indirekte Wirkung über Bereitstellung von Mitteln zur Förderung der Holznutzung

Mit der Annahme des revidierten CO₂-Gesetzes ist diese Möglichkeit ausgeschlossen worden.

²¹ Werner *et al.* 2006; Taverna *et al.* 2007; Werner und Richter 2007

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Grundzüge eines Mechanismus zur Vermarktung der Substitutionswirkung von Holzprodukten

Folgende Schlußfolgerungen können aus dieser Machbarkeitsstudie gezogen werden:

- Eine Zertifikatelösung scheint grundsätzlich ein vielversprechender Ansatz für die Vermarktung der Substitutionswirkung von Holzprodukten. Allerdings lassen sich weder der rein Projekt-basierte Ansatz noch ein Ansatz auf nationaler Ebene direkt umsetzen.
- Methodisch schwierig beim rein Projekt-basierten Ansatz sind die eindeutige Festlegung der Baseline und der Nachweis der Additionalität. Diese Probleme lassen sich weitestgehend über einen Mischansatz – also eine Einzelprojekt-bezogener Ansatz unter Verweis auf die Holzflüsse auf nationaler Ebene lösen.
- Um den Anforderungen an eine Baseline und an die Additionalität der Substitutionswirkung gerecht zu werden, sollte die Betrachtung auf die Substitutionswirkung von Holz in der Primärkonstruktion evt. unter Einbezug ausgewählter weiterer Bauteile beschränkt werden.
- Unter diesen Einschränkungen wird das Potential nach ersten Schätzungen in der Schweiz bei ca. 40'000 t CO₂ pro Jahr liegen. Diese Zahl ist aber noch mit großen Unsicherheiten behaftet, da „wählbaren“ Bauteile außerhalb der Primärkonstruktion noch nicht abschließend bestimmt sind und da die verwendeten Default Faktoren statistischen Ansprüchen aufgrund der viel zu geringen Stichprobe nicht genügen (s. unten).
- Die Additionalität der Substitutionswirkung läßt sich nicht rein finanziell begründen. Weitere Nutzen wie Imagegewinn für die Bauherrschaft, als „gute Tat“ im Sinne des Klimaschutzes (deren Wirkung die Zertifikate erst dokumentieren und sichtbar machen!), im Sinne der Förderung von KMUs oder im Sinne der Förderung von Randregionen stellen wichtige Elemente der Additionalitätsbetrachtung dar.
- Die Quantifizierung der Substitutionswirkung eines Gebäudes sowie die Ausgabe und Verwaltung der Zertifikate muß mit möglichst geringem Aufwand erfolgen. Dazu muß für alle Beteiligten ein genügend großer Anreiz bestehen, im System mitzuwirken.
- Die Quantifizierung der Substitutionswirkung eines Gebäudes kann sinnvoll nur über Default Faktoren berechnet werden, die aus der Auswertung der Treibhausgasemissionen aus Konstruktion, Unterhalt und Entsorgung einer Stichprobe von verschiedenen Gebäuden und Gebäudetypen mit konventioneller Primärkonstruktion bzw. einer Primärkonstruktion aus Holz erfolgen muß. Dieser Ansatz wurde bereits beispielhaft an den in dieser Studie ausgewerteten beiden Gebäuden durchgespielt. Die Herleitung von Default Faktoren über Substitutionsüberlegungen an einem konkreten Gebäude in konventioneller Ausführung bzw. in Holz oder über eine statistische Auswertung der Konstruktionen im Bauteilkatalog hat sich als nicht zielführend erwiesen.
- Der Einbezug der Substitutionseffekte aus der energetischen Nutzung von Rest- und Altholz scheint nicht angezeigt, da es dabei zu Doppelzählungen mit z.B. von der Energieagentur der Wirtschaft oder von der Stiftung Klimarappen finanzierten Klimaschutzprojekten kommen kann.
- Je nach Partner für die Vermarktung und der erwarteten Akzeptanz im Markt bleibt der Einbezug der temporären Senkenwirkung zu prüfen. Berechnungsregeln dazu

liefern z.B. der PAS 2050 oder zukünftig auch der „carbon footprint“ Standard ISO 14067.

- Anforderungen an das Monitoring bleiben zu klären und sollten unter Einbezug des zukünftigen Verifizierers erarbeitet werden.

6.2 Weiterentwicklung

Die Berechnung der CO₂-Default-Faktoren für die Materialsubstitution durch Holz hat gezeigt, dass nur schon in der Primärkonstruktion des Holzbaus mit einem bedeutenden CO₂-Substitutions-Potential gerechnet werden kann. Dieses Potential mag zwar auf das Einzelgebäude bezogen bescheiden erscheinen, es stellt aber auf die gesamte schweizweit verbaute Menge hochgerechnet einen wirtschaftlich ernst zunehmenden Faktor dar.

Daher scheint die Weiterentwicklung des hier entwickelten Berechnungsmodells zu einem umfassenden Geschäftsmodell angebracht, zumal CO₂ / Klimabewusstsein in einer breiten Käuferschaft zusehends ein Entscheidungskriterium wird. CO₂-Angebote im Bereich verbauten Holzes fehlen heute gänzlich. Ein solches Angebot könnte enorm stimulierende Wirkung für den gesamten Holzbau, den anwendungsbezogenen Holztechnologiefortschritt und die Zulieferkette haben und würde letztlich die Wertschöpfungskette Wald und Holz in der Schweiz stärken.

Die Grundzüge eines solchen Geschäftsmodells, abgeleitet auf den Erkenntnissen dieses Grundlagenpapiers, könnten wie folgt aussehen:

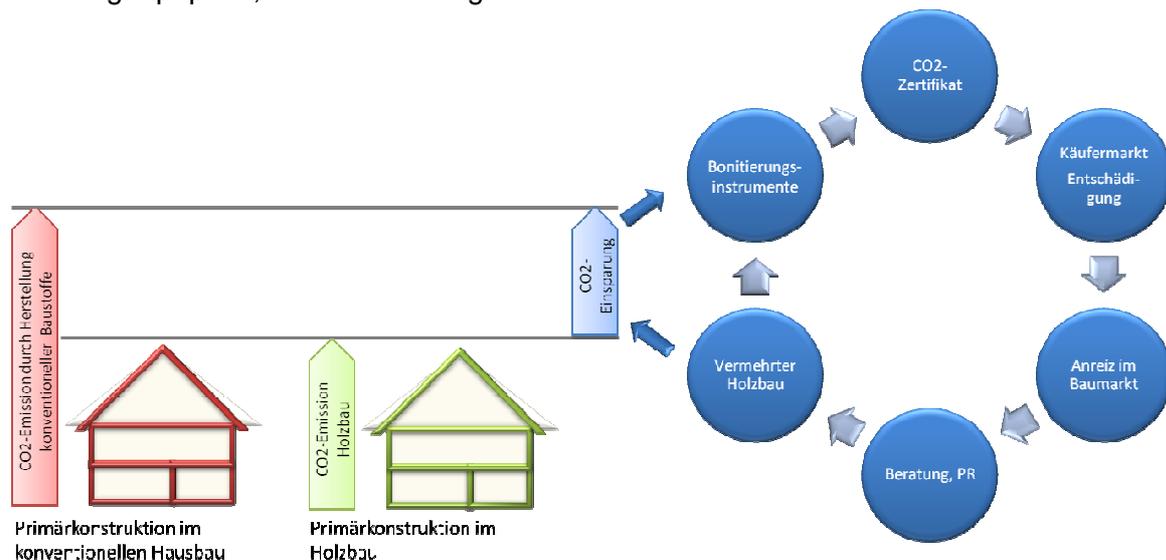


Abbildung 6-1: Grundzüge eines Geschäftsmodells zur Monetarisierung der Substitutionswirkung von Holz in der Primärkonstruktion

Die hier dargestellten CO₂-Gutschriften im Holzbau beziehen sich auf den CO₂-Effekt, den ein konventionelles Hausbauteil in der Primärkonstruktion (z.B. zweischaliges Mauerwerk) gegenüber einer funktional gleichwertigen Holzbauteilausführung hat. Wird also mit Holz gebaut anstelle konventionell, sind CO₂-Emissionen tatsächlich vermieden. Dieser Reduktionseffekt wird in Form eines Zertifikats bestätigt und auf dem CO₂-Käufermarkt angeboten. Dadurch entstehen Geldströme, aber auch ideelle Verknüpfungen zwischen Holzbau und Klima. Dies kann als Katalysator wirken und vermehrt Anreize für den CO₂-armen Hausbau schaffen. Dadurch kann der Einsatz nachhaltiger Holzprodukte gesteigert und die Verwendung (und Produktion) energieintensiver Materialien, wie sie im konventionellen Hausbau üblich sind, senken. Dadurch werden weitere CO₂-Emissionen effektiv vermieden.

6.3 Nutzen

Welcher Nutzen wird erzeugt mit dem Angebot einer CO₂-Gutschrift im Holzbau? Grundsätzlich müssen alle beteiligten Akteure profitieren, damit sich ein System im Markt etablieren kann. Wir sehen den Nutzen vereinfachend dargestellt für die beteiligten Gruppen wie folgt:

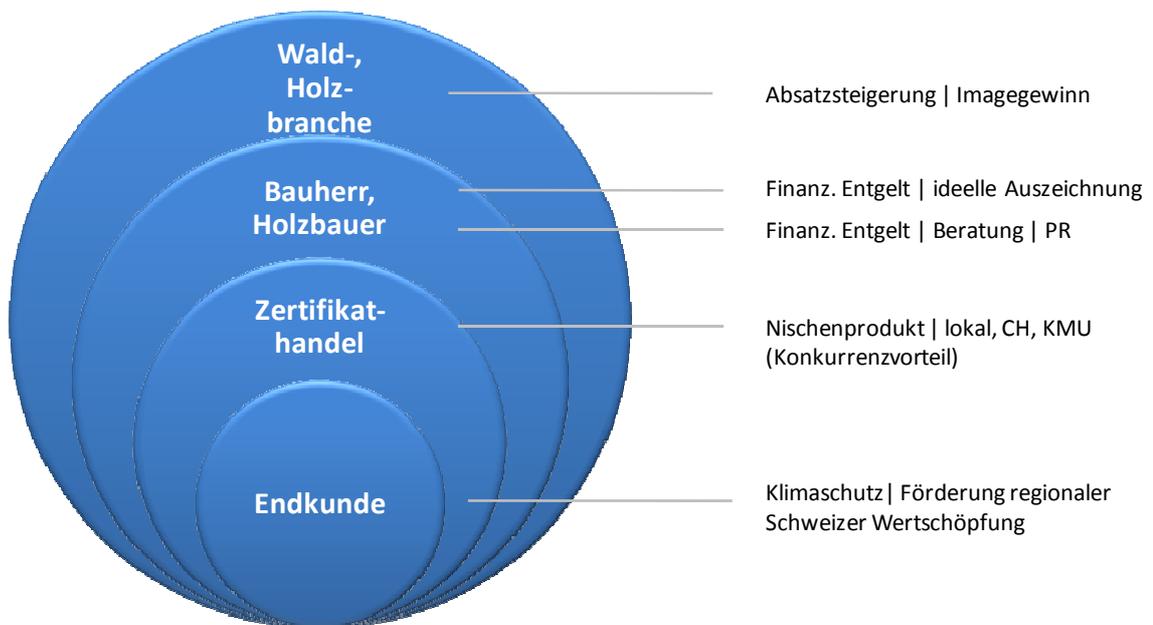


Abbildung 6-2: Erwarteter Nutzen des Geschäftsmodells für die Akteure

Zur Etablierung eines Systems, das alle beteiligten Bereiche in oben aufgeführter Form einbinden kann, sind vertiefte Abklärungen nötig, die allenfalls in einem Folgeprojekt getroffen werden könnten. Aus heutiger Sicht wäre der Nutzen für die gesamte Holzbranche zukunftsweisend.

7 Referenzen

- Affentranger, C. (2009): Bemessung eines MFH und eines EFH. Teilprojekt zum Projekt "Marktorientierte Honorierung der positiven Wirkung der Verwendung von Holzprodukten auf die nationale Treibhausgasbilanz; Machbarkeitsstudie zu Handen des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung", Stand 13. April 2009. Zug.
- BAFU, Ed. (2009). Emissionshandel. Ein marktwirtschaftliches Instrument im Klimaschutz. Umwelt-Wissen Nr. 0909. Bern, Bundesamt für Umwelt.
- BfS/BUWAL (2000): Wald und Holz in der Schweiz; Jahrbuch 2000. Statistik der Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Statistik (BFS), Neuenburg.
- BSI (2008): PAS 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institute (BSI), London.
- Moura-Costa, P. und C. Wilson (2000): An equivalence factor between CO₂ avoided emissions and sequestration – description and applications in forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 5(1): 51-60.
- SLF (2006). Bilanzierung und Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos. Eine Machbarkeitsstudie zum Klimaschutz. Schlussbericht zum KTI-Projekt Nr. 7984.1. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
- Taverna, R., P. Hofer, F. Werner, E. Kaufmann und E. Thürig (2007): CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Umwelt-Wissen Nr. 0739, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Teisl, M. F., S. Peavey, F. Newman, J. Buono und M. Hermann (2002): Consumer reactions to environmental labels for forest products: a preliminary look. *Forest Products Journal*, 52(1): 44-50.
- Werner, F. und K. Richter (2005): Treibhauseffekte der Substitution der Brennstoffe Heizöl und Ergas durch Holz. Arbeitspapier 1.1, Dr. F. Werner, Umwelt & Entwicklung, Zürich.
- Werner, F. und K. Richter (2007): Wooden building products in comparative LCA; a literature review. *International Journal for Life Cycle Assessment*, 12(7): 470-479.
- Werner, F., R. Taverna, P. Hofer und K. Richter (2006): Greenhouse gas dynamics of an increased use of wood in buildings in Switzerland. *Climatic Change*, 71(1-3): 319 - 347.
- Werner, F., R. Taverna, P. Hofer, E. Thürig und E. Kaufmann (2009): National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science and Policy*, eingereicht.

A Annex

A.1 Parameter zur Berechnung der Holzmengen je Bauteil

A.2 Statistischer Hintergrund zur Herleitung der Default Faktoren auf Bauteilebene

A.1 Parameter zur Berechnung der Holzmengen je Bauteil

	Dichte atro	Feuchte	Hilfsstoffe
	kg/m ³ atro	%	% (bez. atro)
Sägeholz rauh	450	15%	
Sägeholz gehobelt	450	15%	
Spanplatte	636	7%	10%
WFP	224	7%	10%
MDF	780	7%	10%
HDF	841	7%	1.70%
Brettschichtholz	450	10%	2.7%
3/5-Schichtplatte	450	10%	2.7%

A.2 Statistischer Hintergrund zur Herleitung der Default Faktoren auf Bauteilebene

	GWP Bauteil konventionell					GWP Bauteil Holz					Substitutionseffekt		Substitutionseffekt pro kg Holz in Bauteil		
	Median	Mittelwert	sd	CV	n	Median	Mittelwert	sd	CV	n	Δ GWP (Median)	Δ GWP (Durchschnitt)	kg CO ₂ /(kg Holz x m ²)	R ²	n
	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	%		kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	%		kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²			
Decken/Böden/Balkone	161.3	157.6	8.0	24%	17	42.2	45.3	8.0	18%	15	-119.1	-112.3	-2.9085	0.7839	32
Flachdächer	182.6	186.8	28.9	15%	5	67.4	91.0	50.3	55%	3	-115.3	-95.8	-3.3925	0.7487	8
Steildächer	keine Unterscheidung zwischen konventioneller Ausführung und Ausführung in Holz möglich										0.0	0.0			
Außenwände EG & OG	75.4	86.4	29.9	35%	25	30.3	29.2	6.2	21%	6	-45.1	-57.2	-1.4888	0.603	31
Außenwände UG	keine Bauteile in Holz verfügbar										-	-	-2)		
Innenwände (tragend)	keine Bauteile in Holz verfügbar										-	-	-2)		
Trennwände	65.1	58.3	17.3	30%	6	30.1	30.1	-	-	1	-35.0	-28.2	-1.0827	0.3466	7
Fenster	274.5	274.5	32.0	12%	4	160.8	160.8	40.5	25%	4	-113.7	-113.7	-14.0810	0.7932	6
Innentüren	keine Unterscheidung von Zargen/Türblatt und deren Hauptmaterialien										-	-	-3)		
Außentüren	keine Unterscheidung von Zargen/Türblatt und deren Hauptmaterialien										-	-	-3)		
Treppen (ohne Keller)	175.6	175.6	154.9	88%	2	4.6	4.6	-	-	1	-171.0	-171.0	-5.4623	0.4483	3
