

39
07

> CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft

Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

39
—
07

> CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft

Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Peter Hofer, Ruedi Taverna, GEO Partner AG (GEO), Zürich

Dr. Frank Werner, Umwelt & Entwicklung, Zürich

Edgar Kaufmann, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf

Dr. Esther Thürig, Bundesamt für Umwelt, Bern

In Zusammenarbeit mit:

Dr. Klaus Richter, Abt. Holz, EMPA Dübendorf

Dr. Hans-Peter Bader, Ruth Scheidegger, Abt. Systemanalyse und Modellierung, EAWAG, Dübendorf

Begleitung BAFU

Thomas Grünenfelder, Esther Thürig, Richard Volz

Zitiervorschlag

Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmann E., Thürig E. 2007:
CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien
zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz. Umwelt-Wissen Nr. 0739.
Bundesamt für Umwelt, Bern. 102 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Titelfoto

Rikli AG, Holzbau, Oberdorf 114, 3374 Wangenried

Umdasch Preis

Die vorliegende Publikation basiert auf einer Arbeit, die am
17. November 2006 in Wien mit dem renommierten Josef-Umdasch-
Forschungspreis für hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der
Holz- und Forstwissenschaften ausgezeichnet wurde.

Bezug

BAFU

Verlagsauslieferung

CH-3003 Bern

Fax +41 (0) 31 324 02 16

docu@bafu.admin.ch

www.umwelt-schweiz.ch/uw-0739-d

Bestellnummer / Preis:

UW-0739-D / CHF 20.– (inkl. MWSt)

Diese Publikation ist auch in englischer Sprache erhältlich
(UW-0739-E).

© BAFU 2007

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	9		
Résumé	13		
<hr/>			
1	Einleitung	17	
1.1	Problemstellung	17	
1.2	Ziel der Untersuchung	18	
1.3	Methodischer Ansatz	19	
1.4	Systemgrenze und Referenzsituation	21	
<hr/>			
2	Berechnungsgrundlagen	23	
2.1	Wald- und Bodenmodell	23	
2.1.1	Waldbewirtschaftungsmodell MASSIMO	23	
2.1.2	Bodenmodell YASSO	25	
2.2	Modell Holzwirtschaft Schweiz	27	
2.3	Umfassendes Modell der Kohlenstofflager	30	
2.4	Substitutionswirkungen	32	
2.4.1	Effekte der Materialsubstitution	33	
2.4.2	Substitution fossiler Energieträger	36	
2.4.3	Effekte der Materialsubstitution aus der Aussenhandelsbilanz	36	
<hr/>			
3	Heutige Lager und Flüsse in der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft	37	
3.1	Heutige C-Lager und -Flüsse im Schweizer Wald	37	
3.1.1	Heutige C-Lager im Schweizer Wald	37	
3.1.2	Heutige C-Flüsse im Schweizer Wald	39	
3.2	Heutige Holzlager und -Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf	40	
3.2.1	Heutige C-Lager im Schweizer Zivilisationskreislauf	40	
3.2.2	Heutige C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf	40	
<hr/>			
4	Szenarien künftiger Nutzungs-, Verwendungs- und Verarbeitungspolitiken	42	
4.1	Allgemeines/Kurzbeschreibung	42	
4.1.1	Szenarien der Holznutzung	43	
4.1.2	Szenarien der Holzverwendung	44	
4.2	Die Szenarien im Detail	45	
4.2.1	Szenario Zuwachs optimiert	46	
4.2.2	Szenario Kyoto optimiert	47	
4.2.3	Szenario Baseline	48	
4.2.4	Szenario Reduzierte Waldpflege	48	
<hr/>			
5	CO₂-Effekte der Szenarien in der Schweiz	49	
5.1	Waldwirtschaft Schweiz	49	
5.1.1	Veränderung des stehenden Holzvorrates im Wald	49	
5.1.2	Auswirkungen auf die Totholzbilanz	50	
5.1.3	Summe der Effekte im Schweizer Wald	51	
5.2	Holzwirtschaft Schweiz	52	
5.2.1	Vorratsveränderung im Zivilisationskreislauf	52	
5.2.2	Materielle Substitutionseffekte	53	
5.2.3	Energetische Substitutionseffekte	54	
5.2.4	Summe der Effekte des Zivilisationskreislaufes	56	
5.3	Beitrag und zeitliche Dynamik der einzelnen CO ₂ -Effekte in der Schweiz	57	
5.3.1	Vergleich Wald/Zivilisationskreislauf	57	
5.3.2	Vergleiche innerhalb des Zivilisationskreislaufes	58	
5.3.3	Zeitliche Abfolge der CO ₂ -Effekte anhand eines Szenarios	60	
5.4	Summe der CO ₂ -Effekte in der Schweiz	61	
5.5	Sozio-ökonomische Auswirkungen der Szenarien	62	
5.5.1	Abschätzung der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung	62	
5.5.2	Abschätzung der Beschäftigungswirkung	63	
5.5.3	Abschätzung für ein Autarkie-Szenario in der Schweiz	65	
<hr/>			
6	Summe der in- und ausländischen CO₂-Effekte der Szenarien	68	
6.1	Ausländische Gesamteffekte	69	
6.2	Vergleich mit der Schweiz	70	
6.3	Total der in- und ausländischen Effekte	71	

7	Schlussfolgerungen	73
<hr/>		
8	FAQs	77
<hr/>		
Anhang		79
A1	Datengrundlagen	79
A2	Elemente des Holzwirtschafts-Modells	80
A3	Szenarien Details	83
A4	Holzverwertung bei den einzelnen Szenarien	89
A5	Faktoren der Materialsubstitution	91
A6	Substitutionsfaktoren für die Produktkategorien der Aussenhandelsbilanz	94
<hr/>		
Verzeichnisse		95
	Abkürzungen	95
	Glossar	95
	Abbildungen	97
	Tabellen	99
	Literatur	100

> Abstracts

The Swiss forestry and timber sector contributes to the reduction of the greenhouse gas effect. This is achieved through the absorption of CO₂ in the forest and through the use of wood in wood products and as an energy source. Model simulations over 100 years show that, depending on the way they are managed, forests absorb (=CO₂ sink) or emit (=CO₂ source) highly varying volumes of CO₂. The harvested wood can also be used for very different purposes. The effects of different wood uses can be demonstrated using simulations of wood flows and wood stocks. Climate-policy-optimized recommendations for action in the forestry and timber sector can be developed on the basis of such models. The following recommendations are made in this study:

1. the maximum possible increment that is also sustainable should be generated in the forest;
2. this increment should be exploited through wood harvesting;
3. the harvested wood should be processed in accordance with the principle of cascade use;
4. waste wood that is not suitable for further use should be used to generate energy.

Die Schweizer Wald- und Holzwirtschaft trägt zur Minderung des Treibhausgas-effektes bei. Dies geschieht durch die Aufnahme von CO₂ im Wald oder durch die Verwendung von Holz für Produkte und als Energieträger. Modellsimulationen über 100 Jahre zeigen, dass Wälder je nach Bewirtschaftung sehr unterschiedliche Mengen an CO₂ aufnehmen (= CO₂-Senke) oder abgeben (= CO₂-Quelle). Die geernteten Holzmengen können dabei für ganz unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden. Die Auswirkungen verschiedener Holzverwendungen lassen sich mittels Simulationen der Holzflüsse, der Substitutionseffekte und der Holzlager aufzeigen. Mittels solcher Modelle können klimapolitisch optimierte Handlungsempfehlungen in der Wald- und Holzwirtschaft erarbeitet werden. Aus der vorliegenden Studie ergeben sich folgende Empfehlungen:

1. Erzeugung eines möglichst grossen aber nachhaltigen Zuwachses im Wald.
2. Abschöpfung dieses Zuwachses durch Holzernte.
3. Verarbeitung des geernteten Holzes in einer Kaskadennutzung.
4. Energetische Endnutzung des nicht mehr weiter verwendbaren Abfall- und Altholzes.

Keywords:

Forestry sector, timber sector,
CO₂ emissions, wood products,
models, ecobalances

Stichwörter:

Waldwirtschaft, Holzwirtschaft,
CO₂-Emissionen, Holzprodukte,
Modelle, Ökobilanzen

L'économie forestière et l'industrie du bois suisses contribuent à réduire l'impact des gaz à effet de serre. Cet effet est obtenu grâce à l'absorption de CO₂ par la forêt ainsi que grâce à l'utilisation de bois comme matériau de construction ou comme agent énergétique. Les modèles de simulation sur 100 ans montrent que les forêts absorbent ou dégagent des quantités très variables de CO₂ en fonction du mode d'exploitation (elles sont soit des puits soit des sources de CO₂). Les quantités de bois récolté peuvent être utilisées à des fins très diverses. Des simulations tenant compte des flux de bois, des effets de substitution et des stocks de bois montrent quelles sont les conséquences des différentes utilisations. Ces modèles permettent d'élaborer des recommandations pour l'économie forestière et l'industrie du bois afin qu'elles optimisent leurs activités du point de vue de la politique climatique. Sur la base de la présente étude, quatre recommandations sont formulées :

1. Produire un accroissement de la forêt qui soit le plus important possible tout en restant durable.
2. Exploiter cet accroissement en récoltant le bois.
3. Transformer le bois récolté dans le cadre d'une utilisation en cascade.
4. Utiliser comme agent énergétique le bois usagé et les déchets de bois qui ne servent plus à d'autres fins.

L'economia forestale e del legno contribuiscono a ridurre l'effetto serra. Ciò avviene con l'assorbimento di CO₂ da parte delle foreste oppure in seguito all'impiego del legno nella fabbricazione di prodotti e come vettore energetico. Modelli di simulazione sull'arco di 100 anni mostrano che, a seconda del tipo di gestione, i boschi assorbono (pozzi di CO₂) o rilasciano (fonte di CO₂) quantità variabili di anidride carbonica. Le quantità di legno raccolte in tal ambito possono essere utilizzate per molti scopi. Gli effetti delle diverse forme di utilizzazione del legno possono essere illustrati mediante la simulazione dei flussi di legno, degli effetti sostitutivi e dei depositi di legname. I modelli permettono di formulare delle raccomandazioni concrete per l'economia forestale e del legno ottimizzate sotto il profilo della politica climatica. Il presente studio raccomanda quanto segue:

1. promozione di un incremento legnoso possibilmente elevato ma anche sostenibile;
2. sfruttamento di tale incremento mediante raccolta del legno;
3. lavorazione del legno raccolto nell'ambito di un utilizzo a cascata;
4. impiego finale a scopi energetici sia dei rifiuti legnosi che del legno usato.

Mots-clés :

Économie forestière, industrie du bois, émissions de CO₂, produits ligneux, modèles, écobilans

Parole chiave:

Economia forestale, economia del legno, emissioni di CO₂, prodotti di legno, modelli, ecobilanci

> Vorwort

Der Wald hat in den letzten Jahren im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt vor allem als CO₂-Senke Beachtung gefunden. Er spielte deswegen eine wichtige Rolle bei den internationalen Verhandlungen um das Kyoto-Protokoll. Auch national wurde seine Bedeutung in der Klimadiskussion erkannt. National- und Ständerat haben entschieden, dass die Schweiz die CO₂-Senke im Wald für die Erfüllung des Kyoto-Protokolls anrechnen wird. Der Wald ist aber für den Klimaschutz nicht nur als Senke interessant. Mindestens so wichtig ist seine Bedeutung als Lieferant des CO₂-neutralen Rohstoffes Holz. In der öffentlichen Diskussion wurde dieser Aspekt wenig beachtet. Er kommt aber mehr und mehr ins Bewusstsein. Mit dieser Publikation soll die Bedeutung der Holznutzung für den Klimaschutz in die richtige Position gerückt werden. Die CO₂-Effekte der Holznutzung werden quantifiziert und der Senkenwirkung gegenüber gestellt. Das Ergebnis der Studie interpretiere ich klar als Ansporn für eine optimierte und nachhaltige Schweizer Wald- und Holzwirtschaft.

Mittels verschiedener Szenarien wird der Effekt der Holznutzung auf die CO₂-Senkenleistung und auf die CO₂-Emissionen dargestellt. Nicht untersucht wurde ein Szenario «Vorratsabbau», da dies dem Parlamentsbeschluss, CO₂-Senken anzurechnen, widersprechen würde. Ausgangspunkt der Studie waren die Holznutzungszahlen noch vor Lothar, daher sind Teile der gewählten Szenarien heute schon Realität. Die Szenarien gehen mit einer Ausnahme davon aus, dass der Aussenhandel von Holz und Holzprodukten nicht verändert wird. Die Wirkungen einer solchen Veränderung sind zu komplex und gehen bis hin zur kaum abschätzbaren Veränderung der Holznutzung von Wäldern in Drittländern und der globalen Entwicklung des Holzmarktes.

Das Ergebnis der Studie zeigt, dass es aus Sicht der CO₂-Politik zweckmässig ist, die Holznutzung im Wald zu erhöhen und langfristig zu optimieren. Bei der Herstellung von Produkten aus Holz oder bei dessen Verbrennung werden CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern vermieden. Bei einer nachhaltigen Holznutzung ist dieser Effekt zeitlich unbegrenzt. Das Ergebnis der Szenarien zeigt auch, dass eine massvolle Senkenbildung im Schweizer Wald noch für eine gewisse Zeit möglich ist. Eine einseitige Betonung der Senkenleistung würde aber in eine Sackgasse führen, weil die Bäume nicht endlos wachsen, und sich ein überalterter Wald in eine Quelle verwandeln würde. Eher überraschend ist aber das Ergebnis, dass bei einer massvollen Erhöhung des Vorrates im Wald auch der Holzzuwachs noch leicht zunehmen würde. Senke und Holznutzung stehen also nicht vollständig im Widerspruch. Eine Reduktion des Holzvorrates im Wald würde dagegen die Produktivität des Waldes und damit auch das Holzangebot für spätere Generationen tendenziell vermindern.

Die Thematik ist technisch anspruchsvoll, stellt sie doch die CO₂-Effekte aus der ganzen Kette vom Wald bis zum Endverbrauch des Holzes dar. Die Publikation richtet sich deshalb vor allem an Fachpersonen. Griffige Antworten auf oft gestellte Fragen geben jedoch die Zusammenfassung, die Schlussfolgerungen sowie der Abschnitt FAQs.

Die Publikation soll einen grundsätzlichen Beitrag für eine nachhaltige Ressourcennutzung leisten. Nicht zuletzt hoffen wir, mit diesen Untersuchungen auch dazu beitragen zu können, dass in den internationalen Klimaverhandlungen für die Zeit nach 2012 die Wirkungen der nachhaltigen Holznutzung gebührend berücksichtigt werden.

Bruno Oberle
Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Fragestellung

Die Wald- und Holzwirtschaft trägt auf verschiedene Weise zur Minderung des Treibhauseffektes bei. Dies durch die Senkenfunktion des Waldes, die Lagerung von Kohlenstoff in Holzprodukten sowie die Substitution von fossilen Rohstoffen durch die Verwendung von Holz. Dieser Bericht behandelt die Frage, wie durch Waldbewirtschaftung und Holzverwendung der Beitrag der Schweiz zur Verbesserung der CO₂-Bilanz optimiert werden kann.

Zentrale Untersuchungen

Mittels Modellen und Szenarien werden Möglichkeiten für eine künftige CO₂-optimierte Politik der Waldnutzung, Holzverarbeitung und Holzverwendung entwickelt. Untersucht werden dabei die Auswirkungen unterschiedlicher Strategien der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung auf CO₂-Senken und CO₂-Emissionen. Durch unterschiedliche Waldbewirtschaftung fallen unterschiedliche Mengen an Holz an, welche entweder im Bauwesen oder im Energiebereich eingesetzt werden können. Die in dieser Publikation aufgezeigten Szenarien unterscheiden sich einerseits bezüglich Holzerntemengen im Wald und andererseits bezüglich der Verwendung des Holzes. Betrachtet werden der Wald, geerntetes und verbautes Holz, sowie Einsparungen von CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Holzprodukten.

Elemente der Modellierung

Die Thematik wurde in vier Bereiche gegliedert, welche mit Modellansätzen bearbeitet wurden. Die vier Teilmodelle arbeiten unabhängig:

1. Der Wald und die Waldbewirtschaftung wurden mit Hilfe von Daten des Schweizerischen Landesforstinventars LFI modelliert. Es wurden unterschiedliche Intensitäten der Waldbewirtschaftung untersucht. Die Modellrechnungen umfassen einen Zeitraum von 100 Jahren (1996 bis 2096). Die C-Dynamik im Boden wurde mitberücksichtigt.
2. Das Modell der schweizerischen Holzwirtschaft wurde auf der Basis der Software SIMBOX durch Anpassung eines bestehenden Stoffflussmodells entwickelt. Das Modell wird durch den Verbrauch an Holzprodukten gesteuert. Die Modellrechnungen umfassen den Zeitraum von 1900 bis 2150.
3. Die Substitutionsrechnungen basieren auf dem Vergleich von Holz und Nicht-Holz-Produkten und deren Ökobilanzen. Um die Substitutionswirkung im In- und Ausland unterscheiden zu können, wurden die Treibhausgasemissionen der einzelnen Bauteile nach ihrem Entstehungsort aufgeschlüsselt.

4. Es wurden auch wichtige Abgrenzungsfragen der CO₂-Einsparungen im In- und Ausland untersucht. Entscheidend für den Klimaschutz sind die gesamten Effekte im In- und Ausland. Für politische Entscheidungen ist es aber auch von Bedeutung, welche CO₂-Effekte im Inland und welche im Ausland entstehen.

Szenarien

Die Szenarien bauen auf folgenden Grundlagen auf:

- > Verschiedene Waldbewirtschaftungsszenarien mit ihren anfallenden Holzmengen,
- > heutige Verbrauchszahlen von Holzprodukten und mögliche Steigerungspotentiale der Holzverwendung im Bauwesen.

In einem ersten Schritt wurden vier verschiedene Waldbewirtschaftungsszenarien definiert, bei welchen unterschiedliche Mengen an nutzbarem Holz anfallen. In einem zweiten Schritt wurde diese Holzmenge so auf Anwendungsgebiete im Bau- und Energiewesen verteilt, dass realistische Verwendungsszenarien entstanden. Die Verteilung im Bauwesen erfolgte bis zum Detaillierungsgrad Bauteile (Geschossdecken, Aussenwände etc.). Der Aussenhandel wurde als konstant angenommen.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

Zuwachs optimiert		
Der Wald wird auf dauerhaft maximalen Zuwachs hin bewirtschaftet. Die resultierenden 9.2 Mio. m³ Waldnutz- und Waldenergieholz (inkl. Rinde und Reisig) werden vollständig genutzt.		
Schwerpunkt Bau	Schwerpunkt Energie	Autarkie (nur teilweise untersucht)
Mehr Holz im Bau (+80 %) Viel mehr Waldholz für Energie (+120 %) Aussenhandel konstant	Keine Veränderung im Bau (+/-0 %) Sehr viel mehr Waldholz für Energie (+345 %) Aussenhandel konstant	Mehr Holz im Bau (+80 %) Mehr Waldholz für Energie (+60 %) Einstellung des Aussenhandels

Kyoto optimiert	Baseline	Reduzierte Waldpflege
Waldnutzung so, dass gleichzeitig mit einer grossen Zuwachsleistung grosse C-Senken im Wald entstehen. Es werden jährlich 8.5 Mio. m³ an Waldnutz- und Waldenergieholz (inkl. Rinde und Reisig) entnommen.	Die Holznutzung im Wald erhöht sich in den kommenden 30 Jahren um rund 20 % auf 5.9 Mio. m³ Waldnutz- und Waldenergieholz (inkl. Rinde und Reisig).	Die Jahresnutzung im Schweizer Wald reduziert sich um 40 % auf 3.0 Mio. m³ Waldnutz- und Waldenergieholz (inkl. Rinde und Reisig).
Mehr Holz im Bau (+80 %) Mehr Waldholz für Energie (+65 %) Aussenhandel konstant	Etwas mehr Holz im Bau (+20 %) Etwas mehr Waldholz für Energie (+20 %) Aussenhandel konstant	Deutlich weniger Holz im Bau (-25 %) Viel weniger Waldholz für Energie (-80 %) Aussenhandel konstant

Ergebnisse

Summe der CO₂-Einsparungen in der Schweiz

Die Ergebnisse zeigen, dass eine optimierte Nutzung des nachwachsenden Holzes den nachhaltigsten Effekt für die Verbesserung der CO₂-Bilanz ergibt. Langfristig sind die Szenarien, welche eine Steigerung der Holzanwendung vor allem im Bauwesen vorsehen (*Zuwachs optimiert*, *Bau* und *Kyoto optimiert*) denjenigen überlegen, welche ein Schwergewicht auf die energetische Verwendung des Holzes legen. In der Schweiz lassen sich mit ihnen um das Jahr 2025 jährlich insgesamt gut 8 Mio. t CO₂-Emissionen vermeiden. Gegenüber 1990 ergibt das einen zusätzlichen Effekt von rund 6.5 Mio. t CO₂. Das bedeutet, dass gut 12 % der heutigen jährlichen Treibhausgasemissionen vermieden werden könnten. Der Vorteil der materiellen gegenüber der energetischen Verwendung des Holzes liegt darin, dass die Einsparung doppelt erfolgt: bei der Herstellung der Holz-Produkte und anschliessend bei der Entsorgung, wenn nicht mehr gebrauchte Holzprodukte noch energetisch genutzt werden können.

Demgegenüber kann zwar kurz- bis mittelfristig eine reduzierte Waldpflege eine relativ grosse Waldsenkenwirkung von knapp 13 Mio. t CO₂ um das Jahr 2015 erzeugen. Allerdings kann diese Menge nach den geltenden Kyoto Regeln nicht angerechnet werden, weil die Anrechnung für die Schweiz auf 1.8 Mio. t CO₂ begrenzt ist. Ab ca. 2075 bewirkt dieses Szenario eine CO₂-Emission aus dem Wald. Rechnet man das erhöhte Risiko von Waldzusammenbrüchen infolge des ungünstigen Altersaufbaus und der grossen Vorräte dazu, könnte es auch schon viel früher zu einer Emission aus dem Wald kommen. Weiter muss berücksichtigt werden, dass bei diesem Szenario der zukünftige Verbrauch an Holz im Bau- und Energiewesen stark zurückgefahren oder durch den Import von Holz und Holzprodukten ersetzt werden muss. Wird das fehlende Holz durch Nicht-Holz-Produkte und fossile Energieträger kompensiert, wird die Vermeidung von CO₂-Emissionen aus der Verwendung von Holz und damit auch der Nettoeffekt dieses Szenarios stark reduziert.

Summe der in- und ausländischen Effekte

Auch in der Summe der in- und ausländischen Effekte weisen die Bau-Szenarien (*Zuwachs optimiert*, *Bau* und *Kyoto optimiert*) mittel- bis langfristig die beste CO₂-Bilanz auf. Um das Jahr 2030 werden die grössten Effekte erzielt. Es können rund 12–13 Mio. t CO₂-Emissionen vermieden werden. Gegenüber 1990 ergibt das einen zusätzlichen Effekt bei den CO₂-Emissionen von 8.2 Mio. t, welche vermieden werden können. Das entspricht rund 15 % der heutigen Treibhausgasemissionen der Schweiz.

Schlussfolgerungen

Bezogen auf die CO₂-Bilanz spielt es eine entscheidende Rolle, wie der Schweizer Wald bewirtschaftet und das anfallende Holz genutzt wird. Kurz- und langfristige CO₂-Effekte können dabei sehr unterschiedlich ausfallen.

Die in den Bau-Szenarien betrachtete Kaskadennutzung des Holzes (zuerst stoffliche, dann energetische Nutzung bei der Entsorgung) weist eine viel bessere CO₂-Bilanz auf als die rein energetische Nutzung. Holz sollte demnach so hochwertig wie möglich eingesetzt und erst am Ende seiner Einsatzmöglichkeiten energetisch verwertet werden.

Diese Studie zeigt, dass bei konstantem Aussenhandel die durch Erhöhung der Holznutzung und -Verwendung erzielten CO₂-Einspareffekte in erster Linie der Schweiz zugute kommen.

Eine Ausrichtung der Waldbewirtschaftung auf die Schaffung von Senken führt wohl kurzfristig zu grossen CO₂-Emissions-Reduktionen, mittel- und langfristig werden diese Wälder aber zu CO₂-Quellen. Stürme, Trockenperioden oder Borkenkäferbefall bilden ein immer grösser werdendes Risiko. Ausserdem steht bei diesem Szenario weniger Holz für die Bau- und Energiewirtschaft zur Verfügung, welches durch Nicht-Holzprodukte und fossile Energieträger oder importiertes Holz ersetzt werden müsste.

Sowohl aus ökologischer wie auch aus klimapolitischer Sicht ist es zweckmässig, einerseits die Vorräte im Wald in dem Masse zu erhöhen, wie es gemäss Kyoto-Protokoll anrechenbar ist und andererseits das darüber hinaus zuwachsende Holz in Kaskadennutzung zuerst für langlebige Holzprodukte und anschliessend energetisch zu verwerten.

> Résumé

Problématique

L'économie forestière et l'industrie du bois contribuent de différentes manières à la réduction de l'effet de serre: par la fixation du carbone en forêt, par le stockage du carbone dans les produits ligneux et en remplaçant des matières premières fossiles par le bois. Le présent rapport traite la question de savoir comment la gestion des forêts et l'utilisation du bois permettent d'optimiser la contribution de la Suisse à l'amélioration du bilan de CO₂.

Recherches centrales

Des modèles et des scénarios permettent de développer les possibilités d'optimiser à l'avenir – du point de vue du CO₂ – la politique d'exploitation de la forêt, de transformation du bois et d'utilisation du bois. On étudie ainsi les effets des diverses stratégies de gestion des forêts et d'utilisation du bois sur les puits et les émissions de carbone. Les différents modes de gestion engendrent des quantités de bois variables susceptibles d'être affectées à la construction ou à la production d'énergie. Les scénarios mis en évidence dans cette publication se distinguent au niveau des quantités de bois récoltées en forêt ainsi qu'en ce qui concerne l'utilisation du bois. Les éléments suivants sont pris en considération: la forêt, le bois récolté et consommé dans la construction, ainsi que la réduction des émissions de CO₂ due à l'utilisation de produits ligneux.

Éléments de la modélisation

La thématique comprend quatre domaines, qui ont été étudiés à l'aide de modèles. Les quatre modèles fonctionnent de manière indépendante :

1. La forêt et la gestion forestière ont été modélisées à l'aide des données de l'Inventaire forestier national (IFN). Différentes intensités d'exploitation ont été étudiées. Les modèles de calcul couvrent une période de 100 ans (de 1996 à 2096). La dynamique du carbone dans le sol a été prise en compte.
2. Le modèle de l'industrie suisse du bois a été développé sur la base du logiciel SIM-BOX, par adaptation d'un modèle existant de flux des matériaux. Il varie en fonction de la consommation de produits ligneux. Les modèles de calcul couvrent la période allant de 1900 à 2150.
3. Les calculs concernant la substitution se basent sur la comparaison du bois et des produits non ligneux et de leurs bilans écologiques. Afin de distinguer l'effet de substitution dans le pays et à l'étranger, les émissions de gaz à effet de serre des différents éléments de construction ont été réparties suivant leur lieu d'origine.

4. Les principales questions de délimitation des économies de CO₂ dans le pays et à l'étranger ont également été étudiées. Pour la protection du climat, c'est l'ensemble des effets en Suisse et dans les autres pays qui est déterminant. En vue de décisions politiques, il s'avère cependant aussi important de savoir où se produisent les effets liés au gaz carbonique: en Suisse ou à l'étranger.

Scénarios

Les scénarios se fondent sur les éléments suivants :

- > différents scénarios de gestion des forêts et quantités de bois qu'ils impliquent,
- > données chiffrées sur la consommation actuelle de produits ligneux et potentiels d'augmentation de l'utilisation du bois dans la construction.

Dans un premier temps, on a défini quatre scénarios différents de gestion des forêts comportant des quantités variables de bois exploitable. Ensuite, la quantité de bois a été répartie entre les domaines d'utilisation de la construction et de la production d'énergie, de sorte à obtenir des scénarios d'utilisation réalistes. La répartition au niveau de la construction a permis d'atteindre le degré de détail de l'élément (planchers, parois extérieures, etc.). On a supposé que le commerce extérieur restait constant.

Les scénarios suivants ont été étudiés:

Optimisation de l'accroissement		
La forêt est gérée en vue de l'accroissement maximal durable du bois produit. Les 9,2 millions de m ³ de bois d'œuvre et d'énergie (écorces et rameaux compris) qui en résultent sont complètement exploités.		
Priorité à la construction	Priorité à l'énergie	Autarcie (partiellement étudiée)
Plus de bois dans la construction (+80 %) Beaucoup plus de bois provenant de la forêt pour l'énergie (+120 %) Commerce extérieur constant	Pas de changement dans la construction (+/-0 %) Nettement plus de bois provenant de la forêt pour l'énergie (+345 %). Commerce extérieur constant	Plus de bois dans la construction (+80 %) Plus de bois provenant de la forêt pour l'énergie (+60 %) Suspension du commerce extérieur
Optimisation du point de vue du Protocole de Kyoto	Scénario de base	Réduction de l'entretien de la forêt
L'exploitation de la forêt doit permettre de créer des puits de carbone en forêt tout en assurant une grande production de bois. Il est prélevé annuellement 8,5 millions de m³ de bois d'œuvre et d'énergie (écorces et rameaux compris).	Au cours des 30 prochaines années, l'exploitation du bois en forêt s'accroît de près de 20 % et atteint 5,9 millions de m³ de bois d'œuvre et d'énergie (écorces et rameaux compris).	L'exploitation annuelle de la forêt suisse baisse de 40 % et atteint 3,0 millions de m³ de bois d'œuvre et d'énergie (écorces et rameaux compris).
Plus de bois dans la construction (+80 %) Plus de bois provenant de la forêt pour l'énergie (+65 %) Commerce extérieur constant	Un peu plus de bois dans la construction (+20 %) Un peu plus de bois provenant de la forêt pour l'énergie (+20 %) Commerce extérieur constant	Nettement moins de bois dans la construction (-25 %) Beaucoup moins de bois provenant de la forêt pour l'énergie (-80 %) Commerce extérieur constant

Résultats

Somme des économies de CO₂ en Suisse

Les résultats montrent qu'une exploitation optimisée de l'accroissement du bois produit l'effet le plus durable sur l'amélioration du bilan de CO₂. À long terme, il faut préférer les scénarios qui prévoient une augmentation de l'utilisation du bois avant tout dans la construction (*optimisation de l'accroissement, priorité à la construction* et *optimisation du point de vue du Protocole de Kyoto*) à ceux qui mettent l'accent sur un emploi du bois à des fins énergétiques. En Suisse, ces scénarios permettent d'éviter annuellement, vers les années 2025, un montant total de quelque 8 millions de tonnes d'émissions de CO₂. Par rapport à 1990, ce résultat représente une économie supplémentaire d'émissions de gaz carbonique de l'ordre de 6,5 millions de tonnes de CO₂. Cela signifie qu'il serait possible d'éviter 12% des émissions annuelles actuelles de gaz à effet de serre. Par rapport à la production d'énergie, l'utilisation matérielle du bois débouche sur une double économie: les produits ligneux dont on n'a plus besoin, lors de la fabrication et plus tard lors de l'élimination, peuvent encore être valorisés à des fins énergétiques.

Une réduction de l'entretien de la forêt permet certes de fixer à court ou moyen terme une assez grande quantité de carbone en forêt (13 millions de tonnes de CO₂) vers 2015. Cependant, cette quantité ne peut pas être comptabilisée selon les règles de Kyoto, vu que la prise en compte du gaz carbonique est limitée à 1,8 million de tonnes pour la Suisse. Dès 2075 environ, ce scénario cause des émissions de CO₂ d'origine forestière. Compte tenu du risque accru d'écroulement des peuplements en conséquence de la structure d'âge défavorable et de l'important volume sur pied, la forêt pourrait déjà se muer en source de gaz carbonique bien avant cette date. De plus, il convient de tenir compte, avec ce scénario, du fait que la consommation future de bois dans la construction et dans la production énergétique peut fortement baisser ou être remplacée par l'importation de bois et de produits ligneux. Si le manque de bois est compensé par des produits non ligneux et des énergies fossiles, la diminution des émissions de CO₂ par l'utilisation de bois et, par conséquent, aussi l'effet net de ce scénario sont fortement réduits.

Somme des effets en Suisse et à l'étranger

Pour ce qui est de la somme des effets en Suisse et à l'étranger également, ce sont les scénarios « construction » (*optimisation de l'accroissement, priorité à la construction* et *optimisation du point de vue du Protocole de Kyoto*) qui présentent à moyen ou long terme le meilleur bilan de CO₂. Les plus grands effets seront obtenus vers 2030. Ils permettront d'éviter l'émission de quelque 12 à 13 millions de tonnes de CO₂. Par rapport à 1990, ce résultat représente une économie supplémentaire d'émissions de gaz carbonique de l'ordre de 8,2 millions de tonnes. Ce qui correspond à près de 15% des émissions actuelles de la Suisse en matière de gaz à effet de serre.

Conclusions

La manière de gérer la forêt suisse et d'utiliser le bois exploité joue un rôle décisif dans le bilan de gaz carbonique. Les effets sur le CO₂ à court et long terme peuvent par conséquent s'avérer très variables.

L'utilisation en cascade du bois (d'abord sous forme de matériau, puis comme source d'énergie lors de l'élimination) considérée dans les scénarios « construction » présente un bien meilleur bilan de CO₂ qu'une exploitation purement énergétique. C'est pourquoi il faudrait d'abord réserver le bois à un usage hautement valorisant, puis seulement l'employer sous une forme énergétique lorsque toutes les autres possibilités d'utilisation sont épuisées.

Cette étude montre que si le commerce extérieur reste constant, les effets d'économie de CO₂ réalisés par l'accroissement de l'exploitation et de l'utilisation du bois s'avèrent en premier lieu favorables à la Suisse.

Une orientation de la gestion forestière vers la création de puits de carbone entraîne bien à court terme une réduction massive des émissions de gaz carbonique. Cependant, ces forêts se transforment en sources de CO₂ à moyen et long terme. Les tempêtes, les périodes de sécheresse ou les attaques de bostryches constituent un risque en constante augmentation. Par ailleurs, ce scénario concède moins de bois à la construction et à l'énergie. Cette carence devrait alors être compensée par l'utilisation de produits non ligneux et d'énergies fossiles, ou par l'importation de bois.

Tant du point de vue de l'écologie que de la politique climatique, il s'avère judicieux d'accroître le volume de bois sur pied jusqu'au niveau pris en compte par le Protocole de Kyoto et de valoriser le surplus de production de bois dans une utilisation en cascade, d'abord pour des produits ligneux de longue vie, puis comme source d'énergie.

1 > Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Schweiz hat sich mit der Unterzeichnung und Ratifizierung des Kyoto-Protokolls zu einer aktiven Klima-Politik verpflichtet. Wichtigste Grundlage für die Erreichung der im Kyoto-Protokoll festgehaltenen CO₂-Reduktionsverpflichtungen sind fundierte Kenntnisse der Wirksamkeit von Massnahmen zur Verbesserung der nationalen CO₂-Bilanz.

**Holz als wichtiger Faktor
einer aktiven Klima-Politik**

Im Bereich Forst- und Holzwirtschaft konzentrierte sich die politische Diskussion der letzten Jahre stark auf die Anrechenbarkeit des Waldes als C-Senke unter Artikel 3.3 und 3.4 des Kyoto-Protokolls. Holz als nachwachsender, CO₂-neutraler Rohstoff und Energieträger kann aber mit all seinen Verwendungsformen einen weit wesentlicheren Beitrag zur Reduktion des nationalen CO₂-Ausstosses leisten. Dies geschieht einerseits bei der Substitution fossiler Energieträger durch Holz, andererseits bei vermehrter Verwendung langlebiger Holzprodukte anstelle von energieintensiveren Materialien und Bauweisen. Zudem wirken Holzprodukte während ihrer Lebensdauer als Kohlenstoff-Lager. Sie verlängern so die Verweilzeit des im Holz gespeicherten Kohlenstoffs und entziehen ihn so länger dem natürlichen CO₂-Kreislauf.

Dem gegenüber wird durch die Holzverwendung die Erhöhung der Holzvorräte im Wald gebremst, und die Senkenwirkung verringert sich. Übersteigt die Nutzung den natürlichen Zuwachs, werden die Holzvorräte sogar abgebaut und der Wald wird zur CO₂-Quelle¹.

Durch den Aussenhandel der Schweiz findet eine Verlagerung der Produktions- und Entsorgungsemissionen statt. Bei importierten Gütern fallen deren Herstellungsemissionen im Produktionsland (Ausland) an; umgekehrt werden bei exportierten Gütern die Herstellungsemissionen der Schweiz angelastet. Darüber hinaus führt der Import und Export von Holzprodukten zu einer Verschiebung des in diesen Produkten gespeicherten Kohlenstoffes. Um die Wirksamkeit klimapolitischer Massnahmen zu beurteilen, muss daher auch die Wirkung des grenzüberschreitenden Warenverkehrs auf die nationale Treibhausgasbilanz berücksichtigt werden. Dabei dürfen die globalen Auswirkungen nicht aus den Augen verloren werden.

**Rolle des Aussenhandels
von Holzprodukten**

All diese klimarelevanten Aspekte von Holz stehen in komplexen zeitlichen und örtlichen Zusammenhängen. Hauptziel dieser Untersuchung war, diese Zusammenhänge modellgestützt an verschiedenen Holznutzungs- und Holzverwendungsszenarien aufzuzeigen.

¹ Fischlin, Buchter et al. 2003; Fischlin, Buchter et al. 2006.

1.2

Ziel der Untersuchung

Diese Untersuchung soll Grundlagen liefern, um den möglichen Nutzen der Wald- und Holzwirtschaft zur Reduktion der CO₂ Emissionen in der Schweiz aufzuzeigen. Da die Planungshorizonte der Forstwirtschaft (und Holzwirtschaft) eher langfristig sind, muss die Wirkung von Massnahmen in der Wald- und Holzwirtschaft auch längerfristig und strategisch für zukünftige Verpflichtungsperioden untersucht werden.

Modellgestützte
Entscheidungsgrundlagen

Diese Studie untersucht politische Handlungsmöglichkeiten zur klimaoptimierten Holznutzung und Holzverwendung auf der Grundlage von Modellrechnungen für unterschiedliche Szenarien. Untersucht werden somit die Auswirkungen unterschiedlicher Strategien der Holznutzung und Holzverwendung auf:

- > die C-Lager im Wald,
- > die C-Lager im Zivilisationskreislauf,
- > die Substitutionseffekte bei der Verwendung von Holz statt energieintensiverer Materialien,
- > die Substitutionseffekte einer thermischen Holzverwendung statt fossiler Energieträger.

Die Holzverwendungsszenarien konzentrieren sich auf den Gebäudepark (und einige weitere Holzprodukte), da sich hier die grössten klimarelevanten CO₂-Einsparungen ergeben können².

Der Untersuchung liegt die folgende Arbeitshypothese zugrunde:

Arbeitshypothese

«Der Beitrag zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz ist dann am grössten, wenn:

- > *ein möglichst hoher Holzzuwachs im Wald erreicht und dieser laufend vollständig genutzt wird,*
- > *aus dem genutzten Holz soweit wie möglich langlebige Holzprodukte hergestellt werden,*
- > *diese nach Ablauf ihrer Lebensdauer, wenn sinnvoll, rezykliert und*
- > *schliesslich energetisch (end-) genutzt werden.»*

Aus den Erkenntnissen dieser Untersuchung lassen sich:

- > Entscheidungsgrundlagen für die Festlegung einer optimalen nationalen Strategie für die Waldbewirtschaftung und Holzverwendung zur Minderung des Klimawandels gewinnen,
- > die Bedeutung und Potentiale einer nachhaltigen und ökologisch optimierten Holzverwendung untermauern,
- > Anreize zur Förderung von Holzverwendungen insbesondere unter Substitutionsaspekten ableiten,
- > der Vorteil einer Kaskadennutzung von Holzprodukten aufzeigen.

² Hofer, Morf et al. 2001.

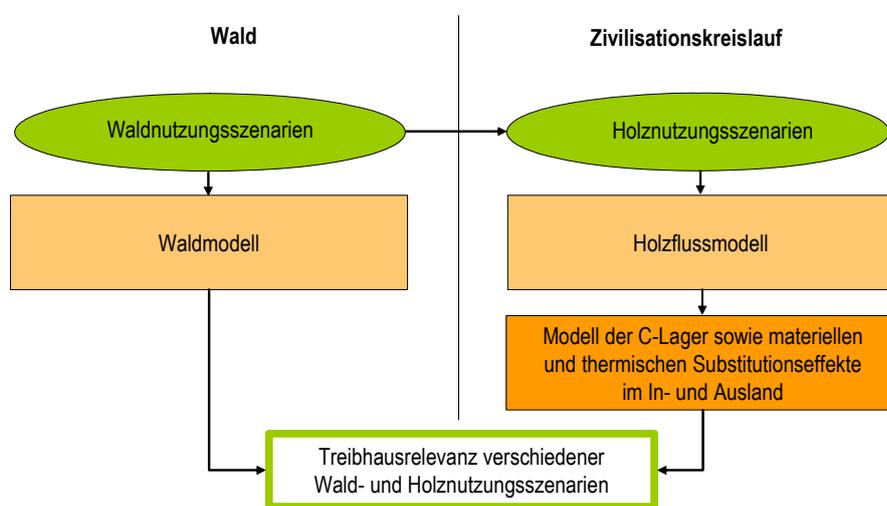
1.3

Methodischer Ansatz

Für die Abschätzung der treibhausrelevanten Effekte der untersuchten Szenarien wurden verschiedene Computermodelle entwickelt, aufeinander abgestimmt und deren Resultate kombiniert. Die Modelle erlauben Aussagen über die zeitliche Veränderung der Flüsse und Lager und der damit einhergehenden Substitutionseffekte innerhalb des betrachteten Zeithorizonts zwischen 2000 und 2096 (resp. 2150).

Kombination von drei unabhängigen Modellen

Abb. 1 > Zusammenspiel der verwendeten Modelle



Die drei Modelle für den Schweizer Wald, die Holzwirtschaft sowie für die C-Lager- und Substitutionseffekte (vgl. Abb. 1) bilden das Kernstück der Studie; die Grundlagen der Modellierung sind in Kapitel 2 detailliert dargestellt.

Waldmodell

Die Modellierung der Walddynamik basiert auf den Erhebungen des schweizerischen Landesforstinventars LFI³, welches von der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) periodisch durchgeführt wird. Ferner wurden neueste Forschungsergebnisse zum Kohlenstoffhaushalt des Schweizer Waldes mit einbezogen, welche eine Abschätzung des Effektes des Abraumes und der natürlichen Abgänge erlaubten⁴. Die Modellierung der Walddynamik basiert auf dem Waldmodell MASSIMO und dem Bodenmodell YASSO (für Details, s. Kap. 2.1). Diese Modelle erlauben die Modellierung der Veränderung des Kohlenstofflagers im Wald als Folge verschiedener Waldbewirtschaftungs-Strategien. Die Modellrechnungen umfassen einen Zeitraum von 100 Jahren (1996 bis 2096).

Landesforstinventare als Grundlage für das Waldmodell

³ Brassel und Brändli 1999.

⁴ Thürig 2005.

Holzflussmodell der Schweizer Holzwirtschaft

Das Modell der schweizerischen Holzwirtschaft wurde auf der Basis der Software SIMBOX durch Anpassung eines bestehenden Stoffflussmodell⁵ entwickelt. Es umfasst alle relevanten Holzlager im Schweizer Zivilisationskreislauf inkl. Holzwirtschaft, Gebäudepark, dem Papierkreislauf sowie den verschiedenen Waldenergie-, Restholz- und Altholzlager.

Verbrauchsstatistiken als Grundlage für das Holzflussmodell

Das Modell wird durch den Verbrauch an Holzprodukten gesteuert. Die Modellrechnung beginnt im Jahr 1900, wobei die Verbrauchszahlen von 1900 bis 2000 verschiedenen Statistiken⁶ entnommen wurden. Die zukünftigen Holzverbrauchszahlen in den Szenarien wurden aufgrund von Marktpotenzialüberlegungen⁷ und der Zuwachsleistung im Schweizer Wald gemäss LFI bestimmt. Alle untersuchten Holznutzungs- und Holzverwendungsszenarien könnten somit Resultat einer bewussten Strategie im Dienste der Klima-Politik sein und sind in diesem Sinne «realistisch». Die Verbrauchsänderungen bei der Holzverwendung finden in allen Szenarien jeweils zwischen 2000 und 2030 statt und bleiben danach konstant.

Umfassendes Modell der Kohlenstofflager und Substitutionseffekte

Die vom Modell der Schweizer Holzwirtschaft generierten Holzflüsse dienen als Eingabedaten für ein umfassendes Modell der Kohlenstofflager und Substitutionseffekte. Um den Effekt der Aussenhandelsbilanz abbilden zu können, wurden die Lager des Holzflussmodells um mehrere Lager für exportiertes bzw. importiertes Holz⁸ ergänzt.

Holzmodell und Ökobilanzen als Grundlagen für umfassendes Modell

Die Berechnung der Emissionseffekte aus der Substitution von Nicht-Holz-Produkten durch Holzprodukte basiert auf langjährigen Erfahrungen in der Ökobilanzierung und auf nationalen und internationalen Datenbanken. Dabei wurden die Treibhausgasemissionen eines Bauteils aus Holz über dessen gesamten Lebenszyklus – von der Rohstoffgewinnung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung inkl. Transporte – mit denjenigen eines funktional gleichwertigen Substitutes verglichen⁹. Die sich substituierenden Produktpaare wurden basierend auf einer Befragung von Architekten und Bauherren¹⁰ festgelegt und die jeweiligen Substitutionseffekte aufgeschlüsselt nach nationalen und ausländischen Anteilen berechnet.

Effekte der Materialsubstitution

Die Effekte aus der Substitution fossiler Energieträger durch Waldenergie-, Rest- und Altholz wurden ebenfalls mit einbezogen. Dazu wurde angenommen, dass durch die energetische Holzverwertung Erdöl- und Erdgasfeuerungen ersetzt werden¹¹. Auch für die energetischen Substitutionseffekte wurden die Effekte im Ausland (aus der Gewinn-

Substitutionseffekte der thermischen Holzverwertung

⁵ Xyloikos, Müller 1998.

⁶ u.a. ESA 1910; EIF 1912; ESA 1922–1974; ESA 1930; FAO 1953b; FAO 1953a; FAO 1964.

⁷ basierend auf BUWAL 1996.

⁸ als Untersumme des gesamten Holzlagers in der Schweiz.

⁹ Werner 2006; Werner, Taverna et al. 2006; Hofer, Taverna et al. 2002c.

¹⁰ Quetting, Wiegand et al. 1999; Wiegand und Quetting 1999a; Wiegand und Quetting 1999b.

¹¹ gewichtet nach ihrem Anteil am Gesamtenergieverbrauch, bezogen auf die jeweilige Nutzenergie; für Details, s. Werner und Richter 2005b.

nung, Raffinierung und Transport von Rohöl) und im Inland (aus der Verbrennung) unterschieden.

Treibhausgaswirkungen aus dem Aussenhandel, z. B. Export von Holzlagern, Import von ausländischen Holzressourcen sowie die Verschiebung von Substitutionseffekten, wurden ebenfalls in die Untersuchung mit einbezogen. Zur Vereinfachung wurden folgende Annahmen getroffen:

- > Bei allen untersuchten Szenarien wurde von einem konstanten Aussenhandel ausgegangen. So konnten Senken- und Quelleneffekte im ausländischen Wald vernachlässigt werden. Nur beim Unter-Szenario «Autarkie», bei dem kein Aussenhandel stattfindet, musste die Wirkung dieses Szenarios auf den ausländischen Wald abgeschätzt werden.
- > Die importierten und exportierten Holzmengen wurden nach dem stock-change approach¹² bilanziert. Das heisst, exportiertes Holz wird dem Ausland als Lager angerechnet, importiertes Holz der Schweiz.
- > Zur Beurteilung der Substitutionswirkung von exportiertem Holz wurde davon ausgegangen, dass exportierte Holzprodukte im Ausland je zur Hälfte Holzprodukte und Nicht-Holz-Produkte substituieren.

Die drei Modelle sind nicht direkt verbunden, sondern wurden über den Austausch von Daten über die entsprechenden Schnittstellen unabhängig betrieben. Die Auswertung der Szenarien erfolgte durch den Zusammenzug der Ergebnisse aus dem Waldmodell und dem vollständigen Modell der C-Lager und Substitutionseffekte.

Berücksichtigung des Aussenhandels

1.4

Systemgrenze und Referenzsituation

Die Untersuchung umfasst die Treibhausgasdynamik, die durch Holznutzungs- und Holzverwendungsszenarien in der Schweiz und im Ausland verursacht wird. Die betrachteten Effekte beinhalten:

- > Kohlenstoffbindung und -veratmung im Wald,
- > Kohlenstoff-Lagereffekte in langlebigen Holzprodukten,
- > Produktions- und Entsorgungsemissionen von Holzprodukten,
- > Substitutionseffekte durch die Vermeidung der Produktion und Entsorgung von (meist energieintensiveren) Nicht-Holz-Produkten,
- > Substitutionseffekte der thermischen Nutzung von Waldenergieholz, nicht materiell genutztem Restholz aus der Holzverarbeitung sowie Altholz durch die Einsparung fossiler Energieträger.

Die treibhausrelevanten Effekte aus der Produktion und Entsorgung können sowohl im Inland als auch im Ausland auftreten. Zum Beispiel führen Exploration, Gewinnung, Raffinierung und Transport von fossilen Energieträgern zu treibhausrelevanten Effek-

Umfassende Betrachtung treibhausrelevanter Prozesse

Aufschlüsselung nach inländischen und ausländischen Effekten

¹² IPCC 2003; UNFCCC/TP 2003.

ten im Ausland. Treibhausgasemissionen treten auch im Ausland auf, wenn Hilfsstoffe (z. B. Lacke) und Halbfertigfabrikate (z. B. Stahlbleche) im Ausland produziert und dann importiert werden.

Neben den durch die Schweizer Waldwirtschaft und Holzverwendung ausgelösten Effekten wird auch die Aussenhandelsbilanz für Holzprodukte mitberücksichtigt. Dabei wird betrachtet, dass:

Einfluss der Aussenhandelsbilanz

- > inländisches Holz in unterschiedliche Produkte im Ausland eingelagert wird,
- > ausländisches Holz in unterschiedliche Produkte im Inland eingelagert wird,
- > aus der Verarbeitung importierter bzw. exportierter teilverarbeiteter Holzprodukte sowohl im Inland wie im Ausland Restholz entsteht, das thermisch genutzt werden kann,
- > beim Import von teilverarbeiteten Holzprodukten ein Teil der Produktionsemissionen im Ausland anfällt,
- > beim Export von Holzprodukten ein Teil der Produktionsemissionen im Inland anfällt,
- > exportierte Fertigprodukte entweder im Ausland produzierte Holzprodukte oder im Ausland produzierte konventionelle Produkte ersetzen können.

In der Regel geben die präsentierten Resultate die tatsächlichen Effekte der Szenarien im betrachteten Jahr an. Das heisst:

Gesamteffekte

- > bei den C-Lagereffekten im Wald und im Zivilisationskreislauf werden die Veränderungen der Lager im Vergleich zum Jahr 2000 dargestellt,
- > bei den Substitutionseffekten werden die Effekte der gesamten Holzflüsse ausgewiesen.

2 > Berechnungsgrundlagen

2.1 Wald- und Bodenmodell

Den Szenarienberechnungen im Wald liegen zwei Teilmodelle zugrunde:

Waldmodellierung

- > Das Waldbewirtschaftungsmodell MASSIMO¹³: Es verfolgt als Zielgrößen die Entwicklung des Waldaufbaus sowie den Anfall an lebender und toter Baumbiomasse. MASSIMO berechnet zudem die jährlich anfallenden Mengen an Streu und Totholz, welche für das Bodenmodell benötigt werden.
- > Das Bodenmodell YASSO¹⁴: Es berechnet die Veränderung des Kohlenstoffgehaltes im Boden aufgrund des jährlichen Streu- und Totholzanfalls und dessen klimabeeinflussten Abbauraten.

Beide Modelle stützen sich auf die landesweiten Erhebungen des ersten und des zweiten Landesforstinventars (LFI) (Tab. 1).

Tab. 1 > Technische Daten zu den Landesforstinventaren I, II und III

	LFI I	LFI II	LFI III
Inventur Zyklus	1983–1985	1993–1995	2004–2006
Luftbild-Probepunkte	40'000	160'000	160'000
Terrestrische Probeflächen	~12'000	~6'000	~6'000
Gemessene Einzelbäume	~130'000	~70'000	~70'000

Die Daten aus der dritten Erhebung 2004 bis 2006 standen für diese Studie noch nicht zur Verfügung. Sie werden ab Frühjahr 2007 ausgewertet.

2.1.1 Waldbewirtschaftungsmodell MASSIMO

Waldmodell MASSIMO

Das Waldmodell MASSIMO (Management Szenario Simulation Model) ist ein empirisches, auf dem Einzelbaum basiertes, stochastisches und dynamisches Forstmodell. Es besteht aus den vier Teilmodellen Verjüngung, Wachstum, Management-Szenarios (inklusive Holzernte) und Mortalität (vgl. Abb. 2). Diese vier Prozesse werden auf der Grundlage empirischer Formeln abgebildet. Diese wurden aus Daten des LFI I und LFI II hergeleitet, die ihrerseits auf ca. 6000 Stichprobenflächen für ca. 70'000 Einzelbäume erhoben wurden.

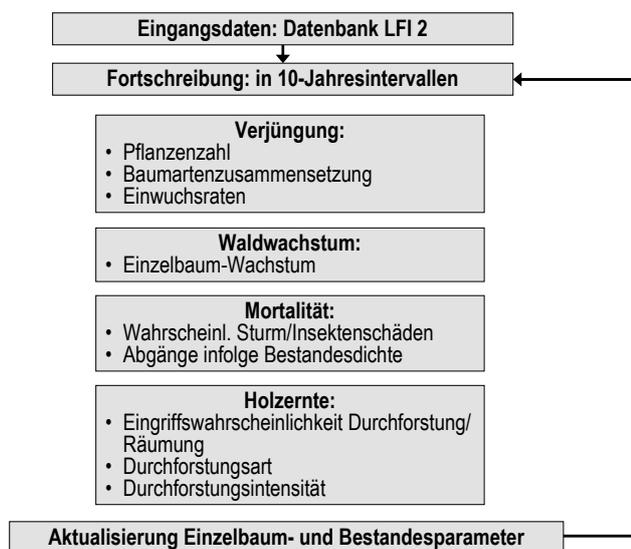
¹³ Kaufmann 2000.

¹⁴ Liski, Peltoniemi et al. 2005.

Das Wachstumsmodell ist das Herzstück von MASSIMO. Die Wachstumsfunktion wurde aus den Inventurdaten von LFI I und II hergeleitet und berechnet in Zehnjahresschritten den Grundflächen-Zuwachs von Einzelbäumen als Funktion von Standortsbedingungen, Waldstruktur und Konkurrenzbedingungen.

Wachstumsmodell

Abb. 2 > Ablaufschema Szenario-Modell



Die Holzernte ist in MASSIMO definiert als Wahrscheinlichkeit, dass ein Einzelbaum zu einem bestimmten Zeitpunkt geschlagen wird. Diese Wahrscheinlichkeit wird aufgrund von logistischen Regressionsmodellen geschätzt. Dabei sind die erklärenden Variablen die Bestandes- und Standortcharakteristiken (Entwicklungsstufe, Baumartenzusammensetzung, Bestandesalter und Standortqualität), die Erntebedingungen wie Zugänglichkeit, angewendete Nutzungstechniken, Erntekosten und Schutzfunktionen. Die Regressionsmodelle wurden aus Daten des schweizerischen Landesforstinventars abgeleitet. Sie geben die gemessenen Nutzungen und Abgänge im Zeitraum zwischen den beiden LFI-Erhebungen 1985 und 1995 wieder.

Holzernte

Auch die natürliche Mortalität wurde von den empirischen Daten aus dem LFI I und LFI II abgeleitet. Allerdings können sich im Rahmen einer 100-Jahre-Simulation die simulierten Bestandesstrukturen erheblich verändern. Werden zum Beispiel in der Modellrechnung die Erntemengen reduziert, nimmt die Bestandesdichte entsprechend zu. Dies könnte die Mortalität erhöhen. Eine solche erhöhte Mortalität musste im Modell MASSIMO berücksichtigt werden. Allerdings fehlen entsprechende Datensätze zur Modell-Anpassung weitgehend. Es wurde daher eine zusätzliche, dichteabhängige Mortalitätsfunktion erarbeitet. Diese basiert auf forstlichen Langzeit-Ertragsuntersuchungen der WSL, auf ausgewählten LFI Stichproben mit hohem Holzvorrat sowie auf Expertenwissen. Diese Daten wurden dazu verwendet, um eine obere Grenze der Bestandesdichte zu definieren.

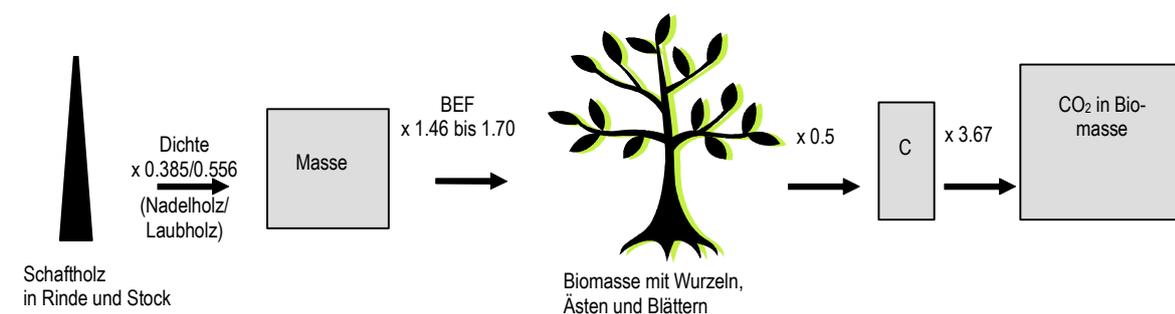
Natürliche Mortalität

Folgende Zusammenhänge wurden abgeleitet: Wenn ein simulierter Bestand die maximale Bestandes-Basalfläche erreicht hat¹⁵, steigt die Mortalitätsrate mit zunehmender Basalfläche exponentiell an. Die Mortalität nimmt auch in sehr alten Beständen exponentiell zu, d.h. ab einem Alter von 150 Jahren im Mittelland und ab 250 Jahren in den Alpen¹⁶.

Die LFI Zahlen werden meist in *Schaftholz in Rinde und Stock* angegeben. In dieser Studie stand jedoch der Kohlenstoff Gehalt der gesamten Biomasse im Zentrum. Um *Schaftholz in Rinde und Stock* in Kohlenstoff bzw. CO₂ umzurechnen, sind folgende Umrechnungen nötig. Durch Multiplikation mit der Holzdichte wird das Raummass Holz [m³] in Festmasse [t] umgerechnet. Durch Multiplikation mit einem spezifischen Expansionsfaktor (BEF) wird die Masse um Äste, Blätter und Wurzeln ergänzt. Die genauen Umrechnungszahlen sind in Thürig, Schmid et al. (2007) beschrieben. Biomasse besteht zu rund 50 % aus Kohlenstoff. Um den Kohlenstoff in die entsprechende Menge CO₂ umzurechnen, muss die Kohlenstoff Menge mit 3.67¹⁷ multipliziert werden. Die gesamte Umrechnung ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

Umrechnung in Kohlenstoff

Abb. 3 > Schätzung der Biomasse und des C-Gehalts



2.1.2 Bodenmodell YASSO

Die Veränderungen des im Boden gelagerten Kohlenstoffs wurden mit Hilfe des Bodenmodells YASSO abgeschätzt¹⁸. YASSO ist ein einfaches Bodenmodell, welches den Abbau von Streu und Totholz zu Humus simuliert. Das Modell benötigt nur wenige Eingangsgrößen: jährliche Streumenge, deren chemische Zusammensetzung und einfache Klimagrößen. Zur Bodenstruktur werden keine Angaben benötigt. Die Abbauraten auf unterschiedlichen Standorten unterscheiden sich folglich nur durch die Streuqualität und einfache Klimawerte, nicht aber durch die Bodenstruktur.

Simulation des Abbaus von Streu und Totholz

¹⁵ 50 m²/ha bis 75 m²/ha in Abhängigkeit der Baumarten-Zusammensetzung und der Entwicklungsstufe.

¹⁶ Thürig 2005a, S. 95.

¹⁷ Für die Umrechnung von C in CO₂ siehe Anhang 1.

¹⁸ Liski, Peltoniemi et al. 2005.

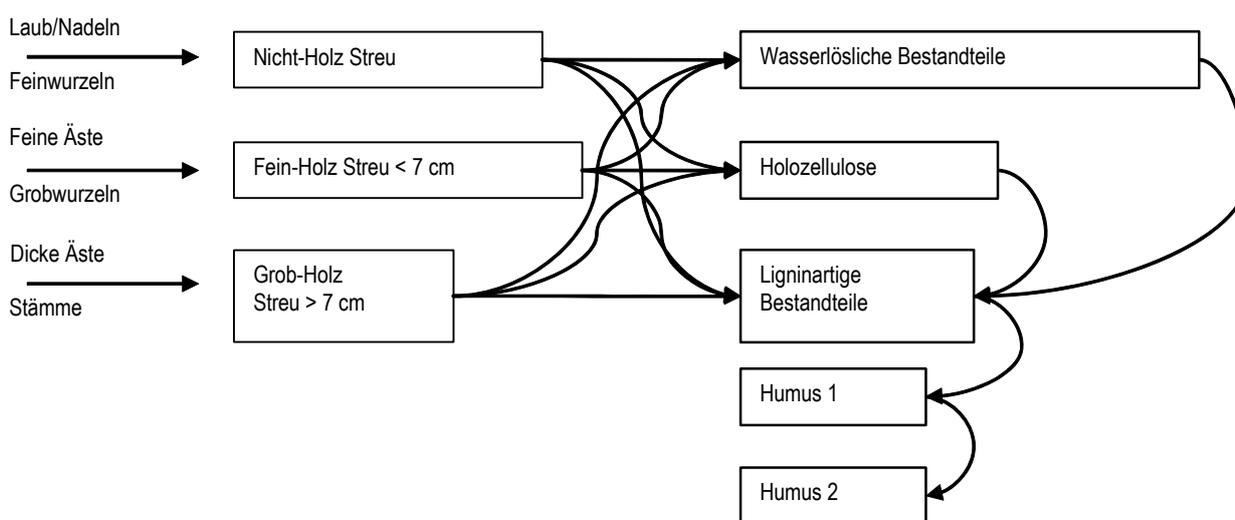
Abb. 4 zeigt die verschiedenen im Modell berücksichtigten Einzelmodule. Bei der Bodenstreu werden *Nicht-Holz-Streu* (Blätter, Nadeln und feine Wurzeln), *Fein-Holz-Streu* (feine Äste (<7 cm) oder Wurzeln) und *grobes Holz* (Äste über 7 cm und Stämme) unterschieden. Durch diese Unterscheidung kann der im Vergleich zu Blättern und Nadeln mechanisch verlangsamte Abbau von hölzerner Streu modelliert werden. Die jährlichen Streumengen wurden mit dem Modell MASSIMO geschätzt. Den in MASSIMO berechneten Baumteilen wie Nadeln, Äste, Wurzeln, usw. wurden spezifische Lebensdauern zugewiesen. Um die jährliche Streuproduktion von zum Beispiel Nadeln zu berechnen, wurde die totale Menge an Nadeln durch die spezifische Lebensdauer der Nadeln dividiert.

Bodenmodell YASSO

Die drei in YASSO differenzierten Streu Gruppen unterscheiden sich bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung. Sie enthalten unterschiedliche Anteile an wasserlöslichen Bestandteilen, Zellulose und ligninartigen Bestandteilen. Die Zersetzungsgeschwindigkeit dieser drei chemischen Gruppen ist unterschiedlich und wird von der ersten bis zur letzten Gruppe immer langsamer. Bei fortgeschrittener Zersetzung verwandeln sich diese Bestandteile in Humus. Im Modell YASSO werden zwei Humusarten unterschieden, welche wiederum unterschiedlich schnell abgebaut werden.

Alle Abbauprozesse im Modell werden durch exponentiellen Zerfall beschrieben. Die jeweiligen Abbauraten widerspiegeln die Aktivität der Mikroorganismen. Sie sind durch die Klimagrößen Temperatur und Sommertrockenheit beeinflusst. Je wärmer und feuchter es ist, desto aktiver sind die Mikroorganismen und desto mehr Material wird von ihnen veratmet und als CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt.

Abb. 4 > Struktur des Bodenmodells YASSO



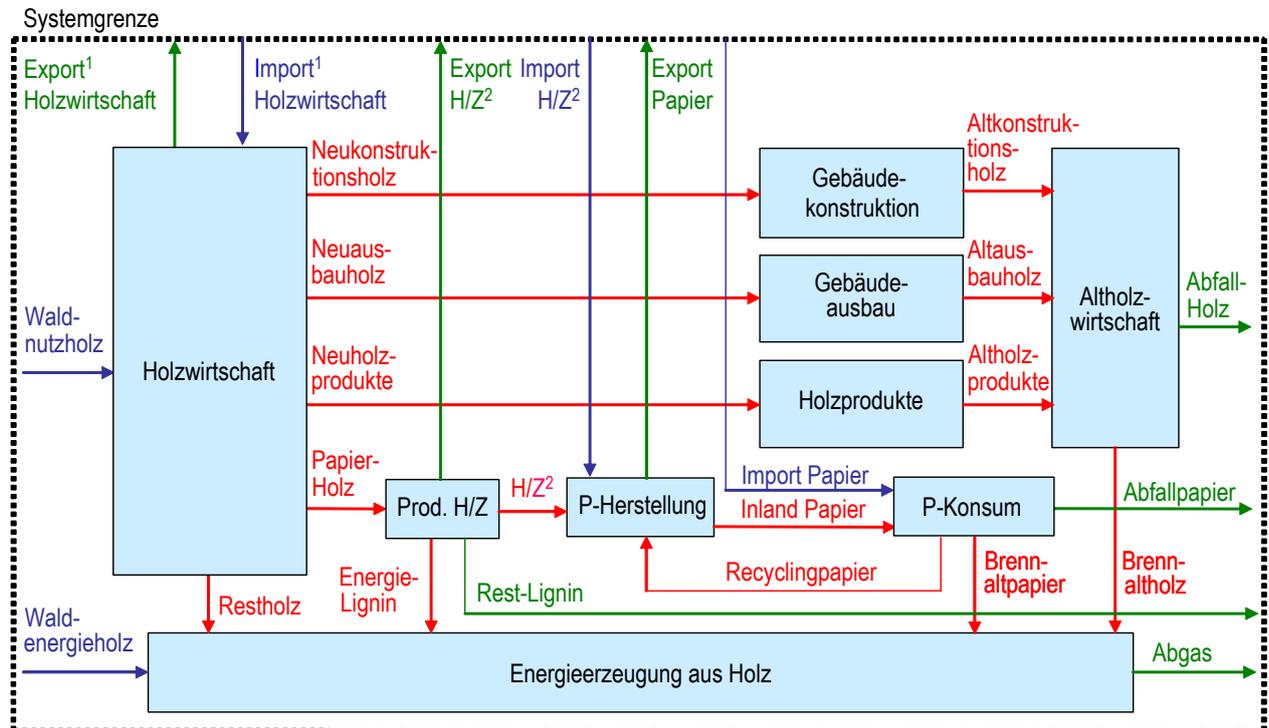
Die Initialisierung und alle in dieser Studie verwendeten Parameter wurden aus der Studie von Thürig (2005) übernommen.

2.2 Modell Holzwirtschaft Schweiz

Als Modell für die Holzströme in der Schweiz wurde in Zusammenarbeit mit der EAWAG ein einfaches Stoffflussmodell der Holzwirtschaft im Zivilisationskreislauf erarbeitet¹⁹. Dazu wurde ein bestehendes Modell Xyloikos²⁰ für die hier interessierenden Fragestellungen umgebaut. Die Berechnungen wurden mit Hilfe der Software SIMBOX durchgeführt.

Das Stofffluss-Modell besteht aus 9 Prozessen (Kasten) und 26 Flüssen (Pfeile) (Abb. 5). Fünf Input- und sieben Outputflüsse überschreiten die Grenzen der Schweiz als Systemgrenzen, während die übrigen Flüsse die einzelnen Prozesse verbinden. Für jeden Prozess ist eine mittlere Verweildauer der Produkte (Lebensdauer) festgelegt. Sie schwankt zwischen 0 Jahren (= keine Lagerbildung bei der Papierherstellung) und z. B. 30 ± 15 Jahren beim Gebäudeausbau oder 80 ± 20 Jahren bei der Gebäudekonstruktion (vgl. auch Anhang 2).

Abb. 5 > Das Modell-System der Schweizer Holzwirtschaft



¹ Zusammengefasst aus vier einzelnen Flüssen; ² H/Z: Holz-/Zellstoff.

¹⁹ Baccini, Daxbeck et al. 1993; Bader und Scheidegger 1995; Baccini und Bader 1996.

²⁰ Müller 1998; Müller, Bader et al. 2004.

Systemgrenzen

Das Modell umfasst sämtliche Holzverwendungen im Zivilisationskreislauf der Schweiz. Die C-Lagereffekte von Holzprodukten im In- und Ausland werden unter Berücksichtigung des Aussenhandels in einem weiteren Modell berechnet (s. Kap. 2.3).

Input in das Modell

Die fünf Inputflüsse in das Modell umfassen:

- > *Wald-Nutzholz* (Stamm- und Industrieholz) aus der Schweiz,
- > *Waldenergieholz* (samt energetisch genutzten Feldgehölzen) aus der Schweiz,
- > *Importe der Holzwirtschaft*: 1: Rund- und Restholz, 2: Halb- und 3: Dreiviertelabrikate sowie 4: Möbel und vorgefertigte Häuser (je einzeln berechnet im Modell),
- > *Importe an Holz- und Zellstoffen* für die Papierherstellung,
- > *Papierimporte* für den Endverbrauch.

Output aus dem Modell

Die sieben Outputflüsse umfassen:

- > *Exporte der Holzwirtschaft*; sie umfassen wie bei den Importen 1: Rund- und Restholz, 2: Halb- und 3: Dreiviertelabrikate sowie 4: Möbel und vorgefertigte Häuser,
- > *Exporte an Holz- und Zellstoffen*,
- > *Exporte von Restlignin*,
- > *Papierexporte*,
- > *Abgas* aus der Verbrennung von Holz als mengenmässig wichtigstem Output aus dem System; feste Rückstände werden aufgrund ihrer geringen Bedeutung (ca. 2 %) nicht berücksichtigt,
- > *Altholz* (= Abfallholz), welches nicht in Altholzfeuerungen oder in der KVA verbrannt wird. Es verlässt entweder die Schweiz zur Verwendung im Ausland (etwa als Spanplatte) oder wird deponiert und allenfalls auch illegal verbrannt,
- > *Abfallpapier*, welches über die Kanalisation, im Kompost oder anderweitig entsorgt wird.

Das System ist verbrauchsgesteuert modelliert. Durch die Vorgabe der Holzverbräuche und der Aussenhandelsmengen der in Tab. 2 aufgeführten Parameter (linke Spalte) werden die restlichen Holzflüsse und -lager in Abhängigkeit der Zeit berechnet. Damit wird z. B. die Menge Waldnutzholz durch die nachfolgenden Holzverbräuche bestimmt. Dem gegenüber wird der Bezug von Waldenergieholz vorgegeben. In Tab. 2 sind die Verbrauchs- und ausgewählte Anteilswerte für das Jahr 2000 angegeben.

Verbrauchsgesteuertes Modell

Tab. 2 > Festgelegte Parametergrößen im Jahr 2000

Verbrauchs-/Import-/Export-Größen	[Mio. m ³ /a]	[kg TS/(E*a)]	Weiterer Parameter	Anteilswert bezüglich 2000 ²¹
Neukonstruktionsholz	0.87	62	Restholzanteil Nutzholz (in Energie)	40 % des Neuholzes
Neuausbauholz	0.87	62	Restholzanteil ½-Fabrikate	30 % des Neuholzes
Neuholzprodukte	0.76	54	Restholzanteil ¼-Fabrikate	20 % des Neuholzes
Papierverbrauch ^{1,2}	3.94	245	Recyclingpapier	63 % des Papierverbrauchs
Waldenergieholz	1.26	90	Zuschlagstoffe im Papier	13 % der Papiermenge
Import Holzwirtschaft	2.70	193	Anteil Abfallpapier	9 % des Papierverbrauchs
Export Holzwirtschaft	2.21	158	Anteil Brennholz	60 % der die Altholzwirtschaft verlassenden Menge
Import Holz-, Zellstoff	1.99	93	Faktor Rohholz → Zellstoff	4.5 m ³ Rohholz für 1 t Zellstoff
Export Holz-, Zellstoff	0.55	19	Faktor Rohholz → Holzstoff	2.8 m ³ Rohholz für 1 t Holzstoff
Import Papier ²	2.53	157	Produktionsverhältnis Zellstoff/Holzstoff	ca. 51 % Zellstoff und 49 % Holzstoff
Export Papier ²	2.56	159	Energetischer Anteil von Lignin	80 % des gesamten Ligninanfalls

¹ Der Papierverbrauch setzt sich aus der Summe des inländischen und importierten Papiers zusammen.

² Der Umrechnungsfaktor wird mit 2.3 m³ Holz pro Tonne Papier angenommen.

Die in den verschiedenen Verwendungsbereichen eingesetzten Verbrauchsmengen wurden aufgrund heutiger Statistiken und Untersuchungen hergeleitet²². Die Verbrauchsmengen wurden auf Kilogramm Trockensubstanz pro Einwohner und Jahr (kg TS/(E*a)) umgerechnet. Vereinfachend wurde angenommen, dass 1 m³ Holz 500 kg TS wiegt und zu 50 % aus Kohlenstoff besteht. Die Einwohnerzahl der Schweiz wurde durchgehend mit 7.0 Millionen beziffert.

Die Lager werden über die vorgegebenen Verbrauchswerte mittels dynamischer Modellierung berechnet. Lager von Produkten mit kurzer Verweildauer im System, wie Papier oder Brennholz, weisen dabei eine kurze Reaktionszeit auf, während das Konstruktionsholz- und das Ausbauholzlager träger reagieren. Der Holzverbrauch in der Konstruktion aus dem Jahr 1950 wirkt sich beispielsweise aufgrund der angenommenen Lebensdauer der Produkte von 80 Jahren bis ins Jahr 2030 aus. Um die Auswirkungen des heutigen oder eines zukünftigen Holzverbrauches ausweisen zu können, müssen deshalb die Lagerentwicklungen während mindestens 100 Jahren über die letzte Verbrauchsveränderung hinaus betrachtet werden. Um ein Abbild der Struktur des heutigen Holzlagers im Gebäudepark zu erhalten, musste deshalb mit der Modellierung im Jahr 1900 begonnen werden. Die Zahlen zu den Holzverbräuchen vor dem Jahr 2000 stammen aus diversen Archivuntersuchungen²³ aber auch aus eigenen Schätzungen.

Dynamische Modellierung

²¹ Wurde für alle Berechnungen konstant gelassen.

²² Wüest, Schweizer et al. 1994; Arioli, Haag et al. 1997; Basler&Hofmann 1997; VHe 1997; Quetting, Mehlich et al. 1998; BFS/BUWAL 2000; Peter und Iten 2001; Hofer, Taverna et al. 2004.

²³ ESA 1910; EIF 1912; ESA 1922–1974; ESA 1930; FAO 1953b; FAO 1953a; FAO 1964.

2.3

Umfassendes Modell der Kohlenstofflager

Die vom Modell der Schweizer Holzwirtschaft generierten Holzflüsse dienten als Eingabedaten für ein umfassendes Excel-basiertes Modell der Kohlenstofflager und Substitutionseffekte²⁴. Um den Effekt der Aussenhandelsbilanz abbilden zu können, wurden die Lager des Holzflussmodells um folgende Lager ergänzt:

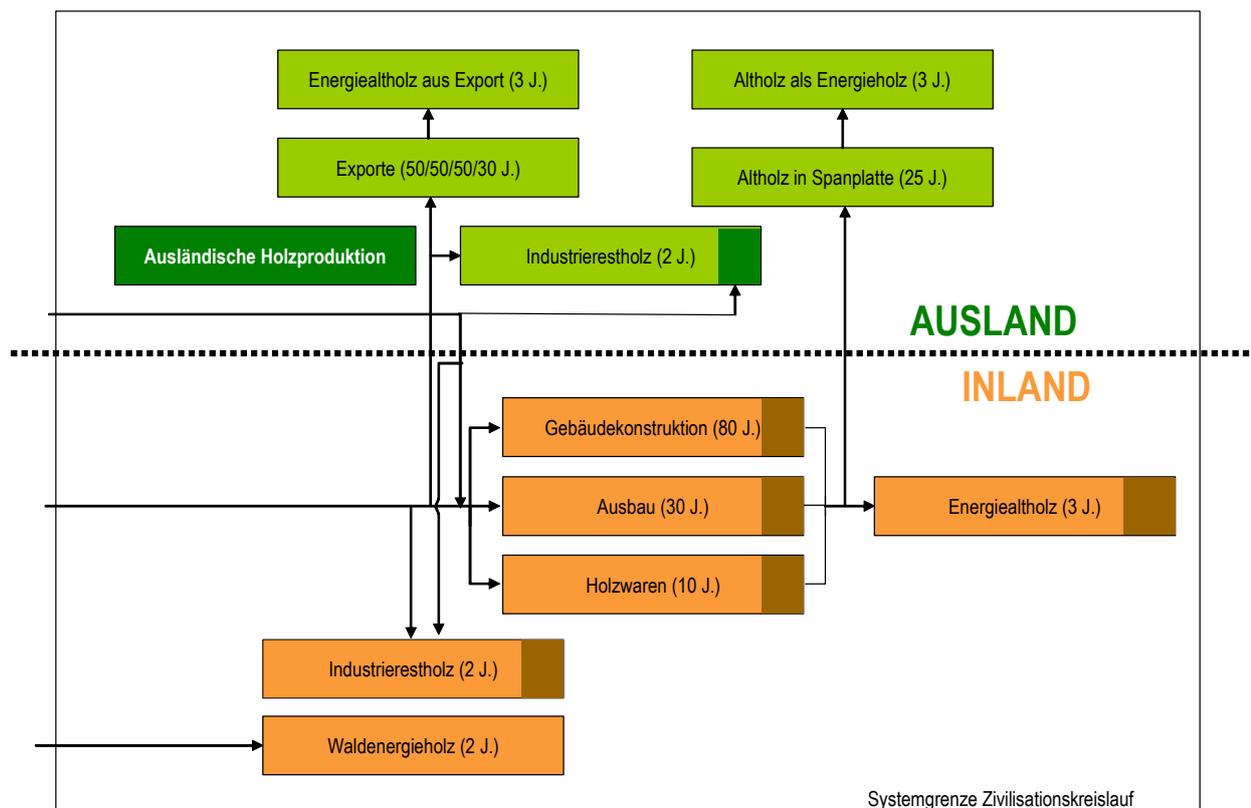
- > Lager von Schweizer Holz im Ausland,
- > Lager von ausländischem Holz im Schweizer Gebäudepark (als Untersumme des gesamten Holzlagers in der Schweiz).

Abb. 6 zeigt die betrachteten Holzlager im In- und Ausland inkl. der Lebensdauer der verschiedenen Produktkategorien.

Ergänzung des Holzmodells um Holzlager aus dem Aussenhandel

Abb. 6 > Modellierte Holzlager im Zivilisationskreislauf im In- und Ausland, ohne Wald

In Klammer steht jeweils die angenommene mittlere Verweildauer; die dunkelbraune Schattierung symbolisiert den Importanteil in den inländischen Holzlagern.



²⁴ Werner und Richter 2005a.

Folgende Verweildauern werden vom Holzflussmodell für die inländischen Lager übernommen:

- > Gebäudekonstruktion: 80 Jahre,
- > Gebäudeausbau: 30 Jahre,
- > Holzwaren: 10 Jahre,
- > Energiealtholz: 3 Jahre,
- > Waldenergie- und industrielles Restholz: 2 Jahre.

Durch den Handelsaustausch über die Grenze werden einerseits Holzlager im Ausland mit exportiertem Schweizer Holz angelegt. Andererseits besteht ein Teil des oben ausgewiesenen Lagerbestandes in der Schweiz aus importiertem ausländischem Holz. Ferner führt die Vorverarbeitung von zu importierenden Produkten zu Restholzlagern im Ausland.

Für die Berechnung der Lagereffekte im Ausland inkl. der Substitutionseffekte im Ausland werden die Verweildauern aus Tab. 3 angenommen (siehe auch Anhang 6 zur Herleitung der Verweildauern).

Dieselben Verweildauern werden auch für importiertes Holz bei der Berechnung der Substitutionseffekte verwendet; für die C-Lagerberechnung der importierten Produkte wird von obigen Verweildauern (Abb. 6) ausgegangen.

Tab. 3 > Annahmen für die Modellierung der Lager aus der Aussenhandelsbilanz

Güter	Anteil energetisch genutztes Restholz	Verweildauer [a]
Häuser/Möbel	0 %	50
¾-Fabrikate	9 %	50
Halbfabrikate	17 %	50
Rundholz ¹	29 %	30
Restholz als Energieholz	-	2
Exportiertes Altholz	0 %	25
Importiertes/exportiertes Restholz	0 %	10
Vorverarbeitung von importierten Häusern/Möbeln	29 %	2
Vorverarbeitung von importierten ¾-Fabrikaten	29 % - 9 % = 20 %	2
Vorverarbeitung von importierten Halbfabrikaten	29 % - 17 % = 12 %	2

¹ Vom Gesamtfluss Rundholz (inkl. Restholz) werden 40 % als importiertes bzw. exportiertes Rundholz angenommen.

Das importierte Restholz (60 % des Gesamtflusses Rundholz (inkl. Restholz)) ersetzt die entsprechende Waldindustrieholznutzung in der Schweiz.

Das Papierlager und alle damit verknüpften Flüsse inkl. Importe und Exporte werden für sämtliche Szenarienbetrachtungen als konstant angenommen. Da in dieser Studie hauptsächlich Veränderungen betrachtet werden, lassen sich die Papierlager für die weiteren Betrachtungen ausschliessen.

Verweildauern

2.4

Substitutionseffekte

Bei einer Verwendung von Holzprodukten können in der Regel energieintensivere Produkte, z. B. aus Stahl oder Beton, ersetzt werden. Die Verwendung von Holz führt zu einem Minderverbrauch an fossilen Energieträgern bei der Produktion. Dieser Effekt nennt sich Materialsubstitution.

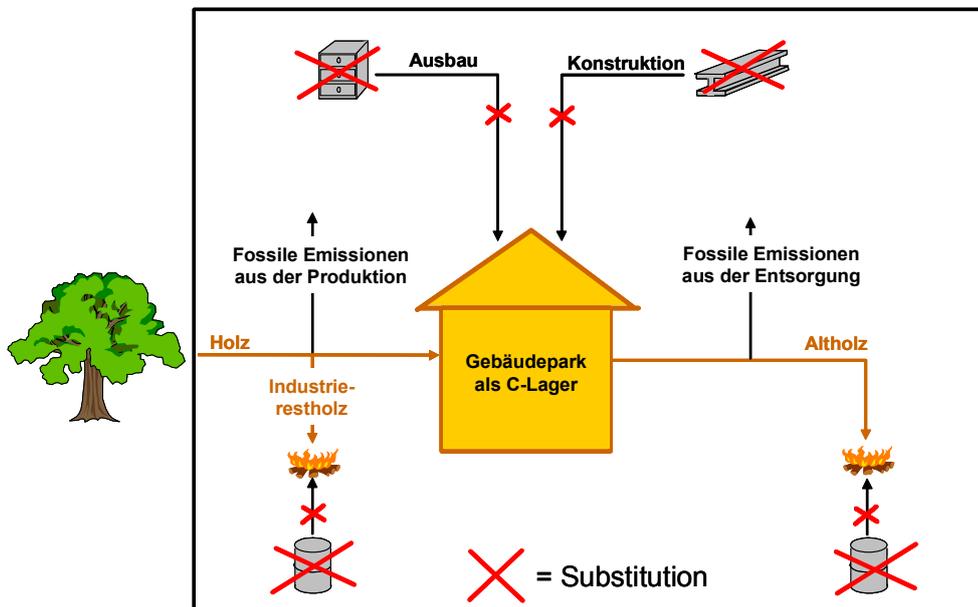
Effekte der Materialsubstitution

Doch Holz kann auch direkt als CO₂-neutraler Brennstoff verwendet werden und dabei den Verbrauch fossiler Energieträger reduzieren. Dieser Effekt wird als energetische Substitution bezeichnet. Abb. 7 stellt die betrachteten Substitutionseffekte schematisch dar. Holzprodukte ersetzen darin energieintensivere Produkte des Ausbaus und der Konstruktion sowie fossile Energieträger aus der thermischen Verwertung von Holz. Die Holzprodukte (Do-it-yourself, Schalungen, Verpackungen) als weitere untersuchte Produktgruppe sind hier nicht dargestellt.

Energetische Substitution

Abb. 7 > Schema der betrachteten Substitutionseffekte im In- und Ausland

Werden Holzprodukte verwendet, entstehen zwar bei der Produktion und Entsorgung Treibhausgasemissionen, es werden aber in der Regel energieintensivere Produkte ersetzt (Materialsubstitution); die thermische Verwertung von anfallendem Restholz und Altholz ersetzt direkt fossile Energieträger (energetische Substitution).



2.4.1 Effekte der Materialsubstitution

Bei der Verwendung von Holz werden Produkte aus konkurrierenden Materialien substituiert. Bei der Festlegung der Konkurrenzprodukte von Holzprodukten wurden Resultate einer umfangreichen Befragung von Bauherren, Architekten und Ingenieuren miteinbezogen²⁵. Dabei wurden absehbare Entwicklungen der Gesetzgebung berücksichtigt. Tab. 4 gibt eine Übersicht über die miteinander verglichenen Konkurrenzprodukte im Bereich Bau.

Praxisnahe Festlegung der funktional gleichwertigen Konkurrenzprodukte von Holz

Tab. 4 > Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte

Anwendung	Bauteil aus Holz	Konkurrenzprodukt
Konstruktion		
(Aussen-) Wände	Blockholzplatte	Backsteinzweischalenmauerwerk
Stützen	Brettschichtholzstütze	Stahlstütze
Geschossdecken	Holzbalkendecke	Stahlbetondecke
Dämmung	Holzfaserdämmplatte ¹	Steinwolle ²
Dächer	Sichtbalkenkonstruktion	Porenbeton-Steildach
Tiefbau	Holzpalisade	Betonpalisade
Ausbau		
Wand- und Deckenverkleidung	Fichtentäfer	Verputz innen
Treppen	Holztreppe Eiche	Betonfertigtreppe
Bodenbeläge	3-Schicht Parkett	Keramikfliesen glasiert
Fassaden	Holzschalung sägerauh inkl. Lattung ¹	Verputz aussen ²
Ausstattung	Holzwerkstoffzarge	Stahlzarge
Möbel	Holzmöbel	Stahlmöbel

¹ in Blockholzplatten-Konstruktion; ² in Backsteinzweischalenmauerwerk.

Für die Produktkategorie Holzwaren wurden folgende funktional gleichwertige Produktpaare betrachtet (Tab. 5).

Tab. 5 > Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte

Anwendung	Holzware	Konkurrenzprodukt
Verpackungen	Holzschalung sägerauh inkl. Lattung ¹	Plastik (Polypropylen) gleichen Volumens
Holzprodukte	Holzschalung sägerauh inkl. Lattung ¹	Plastik (Polypropylen) gleichen Volumens
Bauhilfsstoffe	Schalttafeln (3-Schicht Fichtenplatte)	Aluminiumschalung
Do-it-yourself	Fichtentäfer	Verputz innen

¹ in Blockholzplatten-Konstruktion.

²⁵ Quetting, Wiegand et al. 1999; Wiegand und Quetting 1999a; Wiegand und Quetting 1999b.

Die Treibhausgasbilanz der betrachteten Produkte wurde mittels Ökobilanzen berechnet. Bei einer Ökobilanz werden alle Lebensphasen eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, Herstellung bis zur Bauteilnutzung und den Entsorgungsemissionen inkl. der Transporte einbezogen. Die Ökobilanzierung der Bauteile geht von einem aktualisierten Bauelementekatalog des SIA²⁶ aus oder beruht auf bereits bestehenden, vergleichenden Ökobilanzen²⁷. Der Substitutionseffekt berechnet sich aus der Differenz der Treibhausgasemissionen des Holzproduktes und seines Konkurrenzproduktes.

**Ökobilanzen als Grundlagen zur
Berechnung der
Substitutionseffekte**

Bei den Effekten aus der Materialsubstitution werden zwei zeitlich unterschiedliche Substitutionseffekte unterschieden:

- > Substitutionseffekte bei der Produktion im In- und Ausland,²⁸
- > Substitutionseffekte bei der Entsorgung.²⁹

Entscheidend für die nationale CO₂-Bilanz ist jedoch nicht nur die zeitliche Dynamik sondern auch der Ort der Emission. Um die Substitutionseffekte nach Inland und Ausland aufschlüsseln zu können, wurden alle Prozesse einer Ökobilanz entweder dem Inland oder dem Ausland zugeordnet³⁰.

Der Effekt der Bauteilsubstitution wird in CO₂-Äquivalent angegeben. Dies bedeutet, dass alle treibhausrelevanten Emissionen gewichtet nach ihrem Treibhausgaspotenzial³¹ auf die Wirkung von CO₂ bezogen addiert werden.

**Holzprodukte benötigen
in der Regel weniger
fossile Energieträger**

In der Tat erweisen sich die Substitutionswirkungen von Holzprodukten als sehr vielfältig, wie Abb. 8 illustriert.

Die Treibhausgasemissionen aus Holzprodukten sind in der Regel tatsächlich geringer als von funktionsäquivalenten Produkten aus anderen Baustoffen.

Es gibt jedoch auch den umgekehrten Fall, wo das Holzprodukt höhere Emissionen aufweist, so z. B. bei Dämmstoffen. Weiter ist es möglich, dass die Produktion eines Holzproduktes im Inland mehr fossile Energieträger verbraucht als sein Substitut, obwohl das Holzprodukt global gesehen deutlich weniger Treibhausgase freigesetzt (im Beispiel des Bodenbelages, da Fliesen nicht in der Schweiz hergestellt werden).

²⁶ SIA 1995, aktualisiert nach Biedermann, Carlucci et al. 1999.

²⁷ für spezifische Literatur, s. Werner 2006; Werner, Taverna et al. 2006; Hofer, Taverna et al. 2002c.

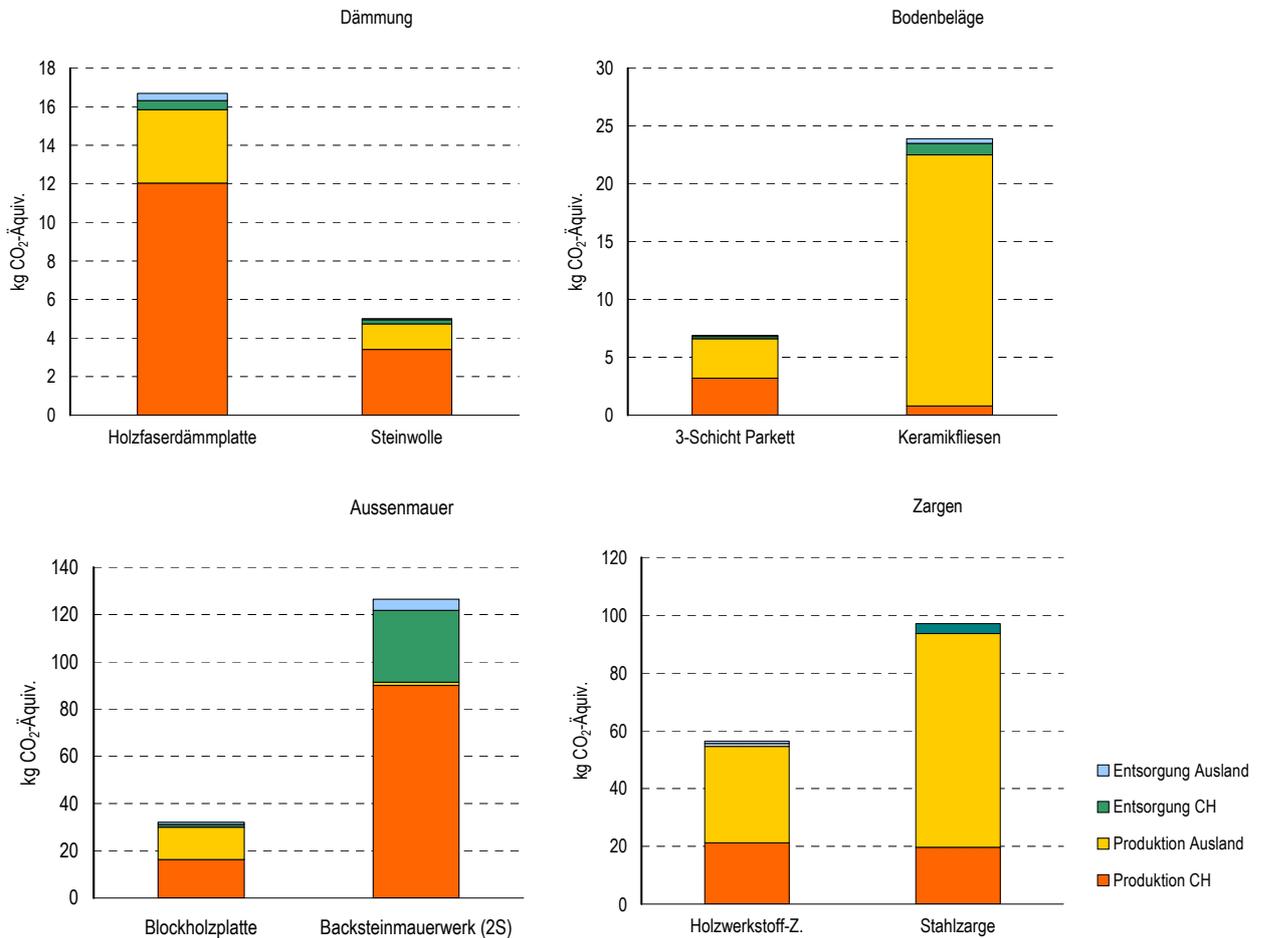
²⁸ Die Herstellung von Holzprodukten benötigt in der Regel weniger fossile Energieträger wie funktional gleichwertige Produkte aus anderen Materialien.

²⁹ Die leichten Holzkonstruktionen benötigen in der Regel weniger fossile Energieträger für Transport und Entsorgung.

³⁰ Für die meisten Produkte wurde das selbst gesetzte Ziel der eindeutigen Zuordnung von 90 % der Emissionen deutlich übertroffen.

³¹ IPCC 1996.

Abb. 8 > Treibhausprofile verschiedener funktional gleichwertiger Produkte



Werner, Taverna et al. 2006.

Als Daumenregeln lassen sich folgende Grössenordnungen für den Effekt der Materialsubstitution angeben: pro m³ Holz lassen sich rund 700 kg CO₂ einsparen, davon etwa 300 kg in der Schweiz³².

Die Substitutionsfaktoren pro Bauteil sind in Anhang 7 zusammengestellt.

³² Diese Werte variieren je nach Anteil der Holzprodukte an der Gesamtholzverwendung; die Zahlen basieren auf der Holzverwendung im Szenario *Zuwachs optimiert, Bau*

2.4.2 Substitution fossiler Energieträger

Waldenergie-, Rest- und Altholz kann bei einer energetischen Nutzung fossile Energieträger ersetzen. Für die Berechnung dieses energetischen Substitutionseffektes wurde angenommen, dass Erdöl- und Erdgasfeuerungen ersetzt werden³³.

Substitutionseffekt aus der thermischen Nutzung von Holz

Bei der thermischen Nutzung von Holz werden verschiedene Substitutionseffekte unterschieden:

- > Inländische Nutzung von Waldenergie-, Rest- und Altholz aus Schweizer Holz. Dabei entstehen Substitutionseffekte sowohl im Inland wie im Ausland (z. B. durch die Vermeidung der Bereitstellungsemissionen für fossile Energieträger),
- > Inländische Nutzung von Restholz aus der Produktion, welches aus der Weiterverarbeitung von importierten Halbfabrikaten entsteht; wobei wie unter dem vorherigen Punkt Substitutionseffekte sowohl in der Schweiz wie im Ausland entstehen,
- > Ausländische Nutzung von exportiertem Schweizer Holz, wobei der Substitutionseffekt nur im Ausland entsteht,
- > Ausländische Nutzung von im Ausland anfallendem Restholz aus der Vorverarbeitung von zu importierenden Holzprodukten.

Für die Abschätzung der energetischen Holzverwertung wurde von einer CO₂-Einsparung von 600 kg CO₂-eq. pro m³ Holz ausgegangen. Davon werden mindestens 480 kg CO₂-eq. pro m³ Holz im Inland eingespart³⁴. Von diesen Zahlen ausgehend wurden für jede energetisch genutzte Holzfraktion spezifische Substitutionsfaktoren hergeleitet³⁵.

2.4.3 Effekte der Materialsubstitution aus der Aussenhandelsbilanz

Eine detaillierte Beschreibung der Herleitung der Substitutionsfaktoren für die als Import-/Exportflüsse modellierten Kategorien «Rundholz/Restholz», «Halbfertigfabrikate», «¾-Fertigfabrikate» und «Häuser/Möbel» findet sich in Anhang 6.

Aussenhandel verschiebt Substitutionseffekte

Zusätzlich wurde der Schweiz für Exporte ein Transportaufwand von 2000 km in einem LKW 40 t zugerechnet³⁶; bei Importen wird dieser Transportaufwand dem Ausland zugerechnet.

³³ gewichtet nach ihrem Anteil gemäss Gesamtenergieverbrauch der Schweiz auf Stufe Nutzenergie; für Details, s. Werner und Richter 2005b.

³⁴ Werner und Richter 2005b.

³⁵ Werner 2006.

³⁶ Eine Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass die Transportlänge nicht besonders sensitiv ist.

3 > Heutige Lager und Flüsse in der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft

Im Sinne der Angabe eines Ausgangs- oder Ist-Zustandes werden im folgenden Kapitel die C-Lager und -Flüsse für das Jahr 2000 ausgewiesen. Im Weiteren werden die Lager- und Flusswerte stets in CO₂-Äquivalenten angegeben.

3.1 Heutige C-Lager und -Flüsse im Schweizer Wald

3.1.1 Heutige C-Lager im Schweizer Wald

Das C-Lager im Schweizer Wald (Waldlager) setzt sich aus der lebenden Baum-Biomasse (Biomasse über und unter dem Boden), dem toten organischen Material, sowie dem C-Gehalt im Boden zusammen (vgl. Tab. 6).

**Zusammensetzung der C-Lager
im Schweizer Wald**

Tab. 6 > Definition der C-Lager im Wald

Lager		Beschrieb
Lebende Biomasse	Oberirdische Biomasse	Stamm, Stock, Äste, Reisig, Blätter/Nadeln
	Unterirdische Biomasse	Wurzeln
Totes organisches Material	Totholz	Stehendes oder liegendes totes Holz, grösser als 7 cm Durchmesser
	Abraum/Streu	Sämtliche nicht lebende Biomasse, kleiner als 7 cm Durchmesser
Boden	Organisches Bodenmaterial	Organischer Kohlenstoff in mineralischen Böden

Die lebende Baum-Biomasse ihrerseits setzt sich folgendermassen zusammen (vgl. Tab. 7).

Tab. 7 > Zusammensetzung der lebenden Baum-Biomasse³⁷

Schaftholz in Rinde, mit Stock	100 %	Davon: Schaftholz ohne Rinde, ohne Stock: 85 % Rinde: 10 %, Baumspitz: 2.3 %, Stock: 2.7 %
Wurzeln	31 %	
Nadeln/Laub	4 %	
Astreisig	12 %	
Astderbholz	3 %	
Gesamte lebende Baum-Biomasse	150 %	
Potenziell nutzbar: Schaftholz i.R. ohne Stock + Astderbholz + Astreisig	112 %	

Für das Jahr 2000 gibt die WSL einen Vorrat an lebender Baum-Biomasse von 250 t/ha oder 267.5 Mio. t Biomasse Trockensubstanz für die gesamte Schweiz an³⁸. Das entspricht 490 Mio. t CO₂ für die gesamte Schweiz.

In und auf dem Waldboden lagerten im Jahr 2000 111 t C/ha oder 118 Mio. t C für die gesamte Schweiz. Umgerechnet entspricht das 435 Mio. t CO₂.

Abb. 9 > C-Lager im Schweizer Wald im Jahr 2000

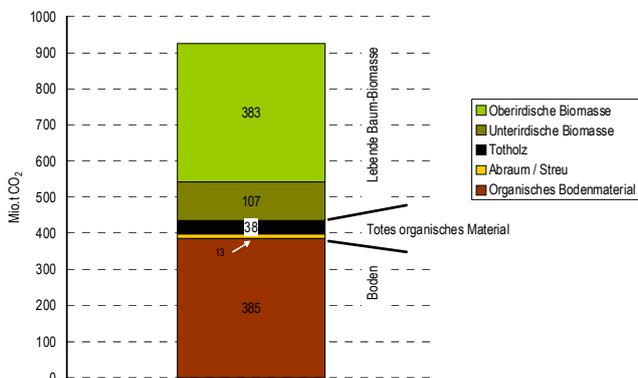
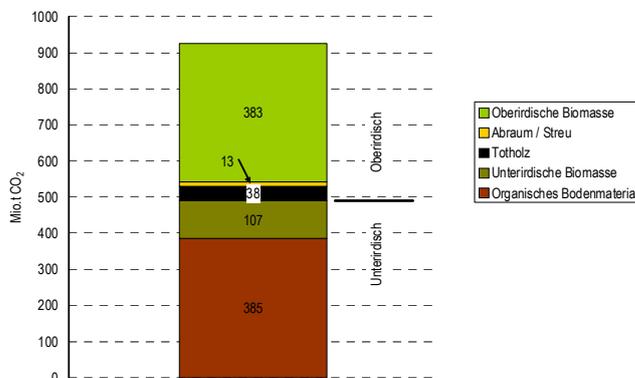


Abb. 10 > C-Lager im Schweizer Wald im Jahr 2000 geordnet nach unterirdischer und oberirdischer Komponenten



Insgesamt lagern im Schweizer Wald inkl. Boden umgerechnet rund 925 Mio. t CO₂. In der lebenden Baum-Biomasse lagert dabei etwas mehr C als im toten organischen Material und im Boden (vgl. Abb. 9). Abb. 10 zeigt die gleichen Zahlen nochmals, diesmal nach unter- und oberirdischen C-Lager aufgeteilt. Diese Abbildung macht deutlich, dass sich unter- und oberirdische C-Lager ungefähr die Waage halten.

³⁷ Für die Herleitung dieser Zusammensetzung, s. Thürig 2005b.

³⁸ Quelle: Unpublizierte Daten von Edgar Kaufmann, WSL.

3.1.2 Heutige C-Flüsse im Schweizer Wald

Die C-Flüsse im Schweizer Wald setzen sich aus natürlichen (z. B. Zuwachs, Mortalität) und exogenen (z. B. Ernte) Flüssen zusammen. Tab. 8 zeigt die Lothar-korrigierten Werte für das Jahr 2000. Die C-Mengen werden zwecks Vergleichbarkeit in Mio. t CO₂ umgerechnet.

C-Flüsse im Schweizer Wald

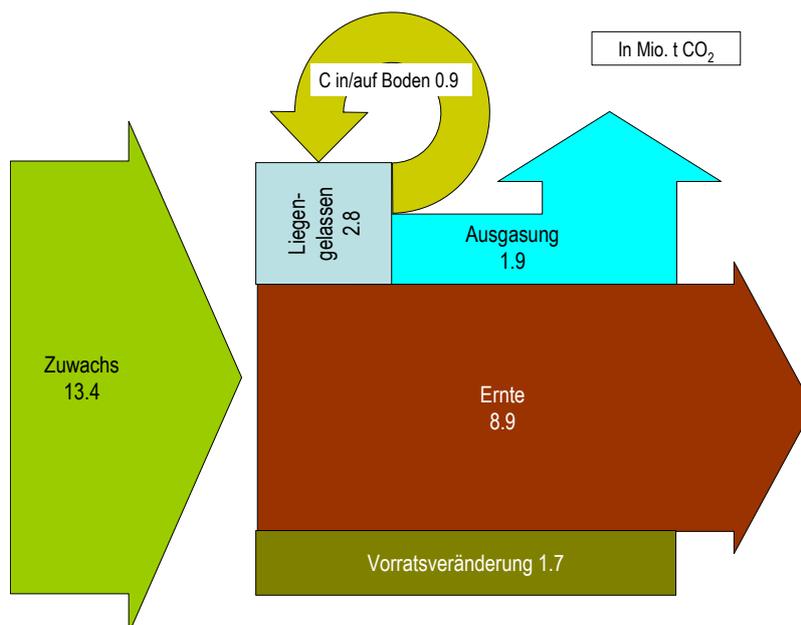
Tab. 8 > C-Flüsse im Schweizer Wald im Jahr 2000 (Lothar-korrigiert)³⁹

Fluss ¹	Unterflüsse		Menge [Mio. t CO ₂]
Brutto-Zuwachs			13.4
Gesamtnutzung	Ernte	In/auf Boden	-8.9
		Ausgasung	-1.9
	Mortalität + Liegengelassen		-0.9
Vorratsveränderung			1.7

¹ Alle Flüsse und die Vorratsveränderung werden in lebender Baum-Biomasse angegeben.

Der Brutto-Zuwachs umfasst dabei die gesamte lebende Baumbiomasse. Unter «Ernte» wird dasjenige Holz verstanden, das aus dem Wald herausgenommen wird. «Ausgasung» bezeichnet die Menge CO₂, die durch Abbauprozesse aus dem liegengelassenen Holz und dem Waldboden in die Atmosphäre entweicht. In Abb. 11 sind die C-Flüsse im Wald schematisch dargestellt.

Abb. 11 > Schematische Darstellung der C-Flüsse im Wald



³⁹ Kaufmann und Taverna 2007.

3.2 Heutige Holzlager und -Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf

3.2.1 Heutige C-Lager im Schweizer Zivilisationskreislauf

Um die Holzlager im Zivilisationskreislauf abschätzen zu können, wird auf Abb. 5 zurückgegriffen. In Tab. 9 werden die Holzlager benannt und beziffert.

C-Lager im Schweizer Zivilisationskreislauf

Tab. 9 > C-Lager im Schweizer Zivilisationskreislauf im Jahr 2000

Lager	Unterkategorie	Menge [Mio. t CO ₂]
Holzwirtschaft	Sägereien, Plattenwerke etc.	6.7 ¹
Gebäudepark inklusive Bauwirtschaft	Konstruktion	48
	Ausbau	22
	Holzprodukte	6.8
Altholzwirtschaft	Altholzlager	1.7
Papierwirtschaft	Papier-Konsum (Lager)	8.0
Energiewirtschaft	Energieholz	7.8
TOTAL		101

¹ Eigene Annahme: die Menge an gelagertem Holz in den Sägereien, Plattenwerken etc. entspricht einer doppelten Jahresproduktion.
Quelle: Hofer, Morf et al. 2001; Hofer, Taverna et al. 2002a.

Umgerechnet lagern im Schweizer Zivilisationskreislauf insgesamt rund 100 Mio. t CO₂. Das entspricht gut einem Zehntel des gegenwärtigen C-Lagers im Wald. Das wichtigste Lager stellt der Gebäudepark dar mit über 75 % der eingelagerten C-Menge. In der Holz-, Papier- und Energiewirtschaft lagern in etwa dieselben Mengen, nämlich je rund 8 %⁴⁰.

Bauwirtschaft als wichtigstes C-Lager

Die heutigen C-Lager in der Bauwirtschaft sind wesentlich von der Vergangenheit geprägt. Infolge der langen Lebensdauer von Bauprodukten, verlässt heute Holz den Zivilisationskreislauf, das Anfang des letzten Jahrhunderts verbaut worden ist.

Prägende Vergangenheit

3.2.2 Heutige C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf

Für die Angabe der C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf wird ebenfalls auf Abb. 5 zurückgegriffen. In Tab. 10 werden die wichtigsten C-Flüsse im Zivilisationskreislauf dargestellt.

C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf

Die grössten C-Flüsse werden in der Holzwirtschaft umgesetzt, gefolgt von der Energiewirtschaft. Wo die Inputmengen nicht mit den Outputmengen übereinstimmen, befindet sich ein Prozess nicht im Fließgleichgewicht, und es erfolgt eine Lagerveränderung (hier überall Lagerzunahmen). Das betrifft hauptsächlich die Bauwirtschaft und in

Lageraufbau in der Bauwirtschaft

⁴⁰ Hofer, Morf et al. 2001; Hofer, Taverna et al. 2002a.

deutlich geringerem Ausmass die Energiewirtschaft⁴¹. Die Lager befinden sich im Jahr 2000 deshalb nicht im Gleichgewicht, weil der Verbrauch seit 1900 stetig zunahm und die maximale Lebensdauer 100 Jahre beträgt.

Tab. 10 > C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf im Jahr 2000 und daraus resultierende Lagerveränderungen

Wirtschaftsbereich	Holzfluss	Menge		Lagerveränderung pro Wirtschaftsbereich [Mio. t CO ₂]	
		[Mio. m ³]	[Mio. t CO ₂]		
Holzwirtschaft	Input	Von Waldnutzung	3.6	3.3	± 0
		Importe	2.7	2.4	
	Output	Exporte	2.2	2.0	
		An Papierindustrie	0.93	0.86	
		An Bauwirtschaft	2.5	2.2	
		An Energiewirtschaft	0.74	0.68	
Bauwirtschaft	Input	Konstruktionsholz	0.85	0.78	+ 0.56
		Ausbauholz	0.85	0.78	
		Neue Holzprodukte	0.74	0.68	
	Output	Altholz aus Konstruktion	0.38	0.35	
		Altholz aus Ausbau	0.72	0.66	
		Altholz aus Produkten	0.73	0.67	
Altholzwirtschaft	Input	Altholz aus Konstruktion	0.38	0.35	+ 0.01
		Altholz aus Ausbau	0.72	0.66	
		Altholz aus Produkten	0.73	0.67	
	Output	Altholz an Energiewirtschaft	1.1	1.0	
		Export-Altholz	0.73	0.67	
Energiewirtschaft	Input	Energieholz von Waldnutzung	1.3	1.2	+ 0.14
		Energieholz von Holzwirtschaft	0.74	0.68	
		Energieholz von Altholz	1.1	1.0	
		Energie von Altpapier ⁴²	0.96	0.88	
		Lignin aus Papierholz ⁴³	0.33	0.31	
	Output	Verbrennung	4.2	3.9	

Hofer, Morf et al. 2001; Hofer, Taverna et al. 2002a.

⁴¹ vgl. dazu Lebensdauern in Kapitel 2.2 und im Anhang 2.

⁴² Pro Tonne Altpapier wird von 2.3 m³ Holz ausgegangen.

⁴³ Pro Tonne Zellstoff wird von 4.5 m³ und pro Tonne Holzstoff von 2.8 m³ Rohholz ausgegangen.

4 > Szenarien künftiger Nutzungs-, Verwendungs- und Verarbeitungspolitiken

4.1 Allgemeines/Kurzbeschreibung

Die vorliegende Untersuchung soll realistische Optionen für die Schweizer Wald- und Holzwirtschaft aufzeigen und deren Auswirkungen auf den nationalen und globalen CO₂-Haushalt darstellen. Die Szenarien unterscheiden sich nach Nutzungsmenge im Wald und der Holzverwendung. Die Nutzungsmengen wurden dabei stets kleiner oder gleich wie der Zuwachs gewählt.

Realistische Szenarien im Dienst
der Klimapolitik

In letzter Zeit entstandene Forderungen, die Nutzungsmengen über den Zuwachs zu steigern würde zu einem Vorratsabbau führen, was eine Kohlenstoffquelle im Wald zur Folge hätte⁴⁴. Dies wurde im Hinblick auf die Verbesserung der CO₂-Bilanz der Schweiz als ein nicht zielgerichtetes Szenarium erachtet. Zudem zeigt eine neue Studie, dass ein Absenken der Vorräte im Schweizer Wald negative Auswirkungen auf die Produktivität hätte⁴⁵. Aus diesen Gründen wurde in dieser Studie auf ein Szenario, welches den Waldvorrat abbaut, verzichtet.

Um die Effekte im ausländischen Wald möglichst vernachlässigen zu können, wird von einem konstanten Aussenhandel auf der Basis des Jahres 2000 ausgegangen. Es wurden die folgenden Szenarien definiert und dem Zustand 2000 gegenübergestellt:

Konstanter Aussenhandel

Tab. 11 > Kurzbeschreibung der Szenarien

	Ausgangswert 2000 [Mio. m ³]	Zuwachs optimiert [Mio. m ³]		Kyoto optimiert [Mio. m ³]	Baseline [Mio. m ³]	Reduzierte Waldpflege [Mio. m ³]
Nutzung⁵						
Holznutzung Schweiz	5.0 ¹	9.2 ² + 90 %		8.5 ² + 75 %	5.9 ² + 20 %	3.0 ² -40 %
		Bau	Energie			
Verbrauch						
Konstruktion, Ausbau, Holzprodukte	2.5 ³	4.5 + 80 %	2.5 ± 0 %	4.5 + 80 %	3.0 + 20 %	1.9 -25 %
Waldenergieholz	1.3 ⁴	2.8 + 120 %	4.9 + 340 %	2.1 + 65 %	1.5 + 20 %	0.2 -80 %
Aussenhandel⁶		Konstant		Konstant	Konstant	Konstant
Export	1.4	1.4		1.4	1.4	1.4
Import	2.2	2.2		2.2	2.2	2.2

¹ Nach Forststatistik Jahr 2000.

² Verwertbare Holzmengen: Derbholz, Rinde, Reisig, siehe Anhang 4.

³ Hofer 2004.

⁴ BFS/BUWAL 2000.

⁵ Aus dem Verbrauch und dem Aussenhandel kann nicht auf die Nutzungsmenge geschlossen werden, weil noch Restholz anfällt.

⁶ OZD 2001; Ohne Holz- und Zellstoffe sowie Papier und Karton.

⁴⁴ Fischlin, Buchter et al. 2003; Fischlin, Buchter et al. 2006.

⁴⁵ Kaufmann 2006.

Es wurde angenommen, dass die jeweiligen Nutzungs-, Verbrauchs- und Produktionsveränderungen zwischen 2000 und 2030 stattfinden und dabei einer logistischen Kurve folgen. Ab 2030 wurden die Verbrauchszahlen konstant belassen. Aufgrund des lang andauernden Lageraufbaus im Zivilisationskreislauf bei langlebigen Holzprodukten sowie der langfristigen Prozesse im Walde wurde die Entwicklung der verschiedenen Lager im Zivilisationskreislauf über 150 Jahre, im Wald über 100 Jahre beobachtet⁴⁶.

Verbrauchsveränderung
von 2000–2030

4.1.1 Szenarien der Holznutzung

Bei der Szenarienbildung im Wald werden die Auswirkungen unterschiedlicher Waldbewirtschaftung geprüft. Dabei werden die Veränderungen von den bisherigen auf die neuen Eingriffsformen und -intensitäten im Zeitraum 2000 bis 2030 vollzogen. Ab 2030 wird die definierte Nutzung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts konsequent weitergeführt. Als Perimeter diente der zugängliche Wald der Schweiz ohne Gebüschwald. Berücksichtigt wurden die 1.07 Mio. Hektaren, welche sowohl 1984 als auch 1994 bewaldet waren. Der resultierende Zuwachs wurde ausgedrückt in verwertbarer Holzmenge, das heisst Schaftderbholz, Astderbholz, Rinde und Reisig (vgl. auch Anhang 4).

Definition Waldfläche
und Zuwachs

Den definierten und ausgewerteten Szenarien wurden die folgenden Waldbewirtschaftungs-Strategien zugrunde gelegt:

Zuwachs optimiert

Ziel diese Szenarios ist es, die Zuwachsleistung des Waldes durch geeignete Bewirtschaftung langfristig zu maximieren. Dies wird durch eine Wahl geeigneter Umtriebszeiten (vgl. Tab. 12) und eine konsequente Verjüngung im gleichförmigen Hochwald erreicht. Dabei entsteht nach einer Umtriebszeit eine gleichmässige Altersklassenverteilung. In den Durchforstungen (Eingriffe bis vor der Endnutzung) werden nur halb so viele Bäume entnommen wie im Basis-Szenario. Der ungleichförmige Hochwald wird wie im Basis-Szenario bewirtschaftet. Dem Wald werden erheblich höhere Mengen an Reisig und Rinde zur energetischen Verwendung entnommen als im Basis-Szenario. Damit bleiben kleinere Mengen an Schlagabraum und Rinde zurück im Wald.

Maximaler Zuwachs,
gleichmässige
Altersklassenverteilung

Tab. 12 > Optimierte Umtriebszeiten

Standortsgüte gering/mässig (bis 2250 kg/(ha*Jahr))	Jura und Mittelland	120 Jahre
	Voralpen	140 Jahre
	Alpen	170 Jahre
Standortsgüte mässig/gut (2250–4500 kg/(ha*Jahr))	Jura und Mittelland	100 Jahre
	Voralpen	120 Jahre
	Alpen	150 Jahre
Standortsgüte sehr gut (über 4500 kg/(ha*Jahr))	Jura und Mittelland	80 Jahre
	Voralpen	100 Jahre
	Alpen	130 Jahre

⁴⁶ Die Extrapolation der Ergebnisse des LFI I und II um 100 Jahre führte so zum Ende der kombinierten Betrachtung Wald und Holz im Jahr 2096.

Kyoto optimiert

Ziel dieses Szenarios ist es, die beiden Waldfunktionen Holzproduktion und Kohlenstoffsenken zu kombinieren. Nebst einem optimalen Zuwachs soll der Vorrat in den Wäldern pro Jahr um die im Kyoto-Protokoll anrechenbare Menge erhöht werden. Bei einer Vorratserhöhung von 65 m³/ha oder 1.5 m³/(ha*Jahr) ist es möglich, dass sich die Schweiz eine Senkenleistung des Waldes von 1.8 Mio t CO₂ bis ins Jahr 2012 (und mehr als 40 Jahre darüber hinaus) anrechnen lassen kann. Auch hier wird im Verlauf einer Umtriebszeit eine gleichmässige Altersklassenverteilung im gleichförmigen Hochwald angestrebt. Ca. 6% des produktiven Waldes werden als Reservate und Altholzinseln ausgeschieden. Die angestrebte Vorratszunahme von 1.5 Mio. m³ Schaftholz in Rinde pro Jahr wird durch eine allmähliche Verminderung der Durchforstungseingriffe erreicht. Dem Wald werden erheblich höhere Mengen an Reisig und Rinde zur energetischen Verwendung entnommen als im Basis-Szenario. Damit bleiben kleinere Mengen an Schlagabraum und Rinde zurück. Die (End-) Nutzungsmengen nehmen trotz (oder wegen) reduzierter Durchforstungseingriffe zu, denn auf den Räumungsflächen steht wegen der reduzierten Durchforstung mehr Holz.

Hoher Zuwachs und
Vorratserhöhung

Baseline (Basis-Szenario)

Der Wald wird in den nächsten Jahren so bewirtschaftet, wie man es anhand der beiden Inventuren LFI I (1983–85) und LFI II (1993–95) feststellen konnte. Diese Feststellung bezieht sich insbesondere auf die Wahrscheinlichkeit, mit denen der einzelne Baum in einem bestimmten Bestand mit seiner Struktur und seinem Alter in den Folgeperioden genutzt wird. Die Wahrscheinlichkeit von Sturmaktivitäten und -schäden sind an die Situation nach Lothar angepasst. Es erfolgt eine moderate Nutzungssteigerung.

Weiter wie bisher

Reduzierte Waldpflege

Ziel dieses Szenarios ist es, den Effekt der Wälder als Kohlenstoffsenken zu maximieren. Damit soll der Beitrag der Wälder an die Klimaänderung und die Reduktion der CO₂ Emissionen optimiert werden. Die Bewirtschaftung wird auf eine minimale Waldpflege in Gebirgsschutzwäldern zur Erhaltung ihrer Schutztauglichkeit reduziert. Aufgrund des hohen Zuwachses und der tiefen Nutzung ergibt sich eine starke Vorratssteigerung. Die Zunahme der Holzvorräte in den Beständen wird schliesslich durch eine erhöhte Mortalität gebremst. Mit der Zeit kommt es sogar zu einem natürlichen Vorratsabbau. Durch vermehrte Zersetzung von Totholz und Streu in den Beständen kommt es schliesslich zu hohen CO₂-Emissionen.

Maximale Kohlenstoffsenken
im Wald

4.1.2 Szenarien der Holzverwendung

Die verfügbaren Holz mengen der Holznutzungsszenarien sind die Grundlage der unterschiedlichen Holzverwendungsszenarien. Um realistische Szenarien der Holzverwendung bilden zu können, wurden Marktanalysen zum Potential des Holzes im Bauwesen⁴⁷ und im Bereich der Holzenergie⁴⁸ konsultiert und Prognosen zur Baukon-

Einbezug von Marktanalysen
und Baukonjunktur

⁴⁷ Quetting, Wiegand et al. 1999; Wiegand und Quetting 1999a; Wiegand und Quetting 1999b.

junktur^{49, 50} einbezogen. Die aus den Szenarien resultierenden Veränderungen des Holzverbrauchs erfolgen von 2000 bis ins Jahr 2030 und werden danach konstant gehalten. Die Verbrauchsveränderung folgt dabei einer logistischen Kurve. Die Zuteilung der Bauteilmengen wurden basierend auf den Unterteilungen gemäss Kapitel 2.4.1 vorgenommen. In Anhang 3 werden die aktuellen und zukünftigen Marktanteile aufgelistet. Es wurde darauf geachtet, dass der Holzverbrauch pro Bauteil realistisch bleibt⁵¹.

Der heute schon beinahe ausgeglichene Aussenhandel mit Papier und Karton wird bis ins Jahr 2030 ganz ausgeglichen und danach wie der übrige Verbrauch konstant gehalten. Der Aussenhandel mit Holz- und Zellstoff ist demgegenüber bei weitem nicht ausgeglichen. Hier besteht ein deutlicher Importüberschuss⁵². Dieser Aussenhandel wurde aber wie der übrige Aussenhandel konstant gehalten. Das Vorgehen für die Papier- und Kartonindustrie wurde bei allen Szenarien gleich angewandt. Die Effekte des Papierkreislaufes konnten deshalb ausgeklammert werden.

**Ausblendung der Effekte
des Papierkreislaufes**

Um die Einflüsse auf den ausländischen Wald vernachlässigen zu können, wurde generell von einem konstanten Aussenhandel gegenüber heute (Jahr 2000) ausgegangen.

Konstanter Aussenhandel

4.2

Die Szenarien im Detail

Die Szenarien (und weitere Unterszenarien) sind in den Anhängen 3 und 4 im Detail beschrieben.

⁴⁸ BFE 2006.

⁴⁹ Wüest, Schweizer et al. 1994; Arioli, Haag et al. 1997 sowie mündliche Auskünfte der Bauindustrie, 2001.

⁵⁰ SBV 1997.

⁵¹ Hofer, Morf et al. 2001; Hofer, Taverna et al. 2002a; Hofer, Taverna et al. 2002b.

⁵² ZPK 2003.

4.2.1 Szenario Zuwachs optimiert

Diesem Szenario liegt die eingangs vorgestellte Arbeitshypothese zugrunde, dass der Schweizer Wald einen möglichst grossen Zuwachs aufweisen soll und dieser vollumfänglich für die Produktion von langlebigen Holzprodukten mit anschliessender thermischer Endnutzung zu verwenden sei.

Hypothese für optimale CO₂-Wirkung

Variante a) Zuwachs optimiert BAU:

Verbrauch:	Starke Steigerung des Verbrauchs an Konstruktions-, Ausbauholz und Holzprodukten gegenüber heute um 80 % auf 4.5 Mio. m ³ /Jahr.
	Starke Steigerung des Verbrauchs an Waldenergieholz um gut 120 % auf 2.8 Mio. m ³ /Jahr.
Holznutzung:	Steigerung der Nutzung um 84 % auf 9.2 Mio. m ³ /Jahr.
	Davon 8.0 Mio. m ³ /Jahr aus genutztem Derbholz + 1.2 Mio. m ³ /Jahr Rinde und Reisig, dies vor allem zur energetischen Nutzung. Zusammen mit den natürlichen Abgängen verbleiben rund 20 % eines Baumes im Wald.
Produktion im Inland:	Starker Ausbau der inländischen Holzindustrie.
Aussenhandel:	Konstanter Aussenhandel gegenüber heute.

Variante b) Zuwachs optimiert ENERGIE:

Verbrauch:	Konstanter Verbrauch von Konstruktions-, Ausbauholz und Holzprodukten gegenüber heute.
	Sehr starke Steigerung des Verbrauchs an Waldenergieholz um über 340 % auf 5.6 Mio. m ³ /Jahr.
Holznutzung:	Steigerung der Nutzung um 84 % auf 9.2 Mio. m ³ /Jahr.
	Davon 8.0 Mio. m ³ /Jahr aus genutztem Derbholz + 1.2 Mio. m ³ /Jahr Rinde und Reisig, dies vor allem zur energetischen Nutzung. Zusammen mit den natürlichen Abgängen verbleiben rund 20 % eines Baumes im Wald.
Produktion im Inland:	Kein Ausbau der inländischen Holzindustrie.
Aussenhandel:	Konstanter Aussenhandel gegenüber heute.

Zuwachs optimiert	
Der Wald wird auf dauerhaft maximalen Zuwachs hin bewirtschaftet. Die resultierenden 9.2 Mio. m³/Jahr Waldnutz- und Waldenergieholz werden vollständig genutzt.	
Entwicklung Bau	Entwicklung Energie
Mehr Holz im Bau (inkl. Möbel etc.) (+80 %)	Keine Veränderung im Bau (+0 %)
Mehr Waldholz für Energie (+122 %)	Mehr Waldholz für Energie (+344 %).
Keine Veränderung im Aussenhandel	Keine Veränderung im Aussenhandel

Um die Auswirkungen einer kompletten Selbstversorgung mit Schweizer Holz abschätzen zu können, wurde zusätzlich noch ein Szenario *Zuwachs optimiert, Autarkie* gerechnet. Da bei diesem Szenario weitreichende, z.T. schwierig abschätzbare Annahmen zum ausländischen Wald getroffen werden mussten und der Fall einer Schliessung der Grenzen als unwahrscheinlich betrachtet wird, werden die Resultate in einem speziellen Unterkapitel (Kap. 5.5.3) separat behandelt (vgl. auch Anhang 3 und 4).

Autarkie-Szenario

4.2.2 Szenario Kyoto optimiert

Das Szenario *Kyoto optimiert* soll einen Kompromiss zwischen dem Bedürfnis nach Waldsenken aufgrund des Kyoto-Protokolls und dem Bedürfnis nach optimaler Holzverwendung in der Wald- und Holzwirtschaft aufzeigen. Um die in der ersten Verpflichtungsperiode (2008–2012) anrechenbare Senkenleistungen des Waldes zu erfüllen, muss der durchschnittliche Waldvorrat um ca. 1.5 m³ pro Hektare und Jahr ansteigen. Unter folgenden Voraussetzungen könnten für über 40 Jahre sowohl Zuwachs und Nutzung im Wald optimiert, wie auch die Kyoto Senkenpolitik ausgeschöpft werden:

1. Das für die erste Verpflichtungsperiode anrechenbare Senkenpotenzial von 1.8 Mio. t CO₂/Jahr bleibt in den folgenden Verpflichtungsperioden gleich.
2. Der Holzvorrat im Wald wird jedes Jahr um die im Protokoll anrechenbare Menge angehoben.

Wie beim Szenario *Zuwachs optimiert* wurden auch hier die zusätzlichen Holzmengen einmal prioritär in der Bauwirtschaft und einmal direkt energetisch verwendet. Die Effekte beim Energie-Szenario verlaufen dabei parallel zu den Ergebnissen des Szenarios *Zuwachs optimiert, Energie*, auf einem leicht tieferen Niveau. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird deshalb im Folgenden auf eine Darstellung dieser Resultate verzichtet (vgl. aber Anhang 3 und 4).

Verbrauch:	Starke Steigerung des Verbrauchs an Konstruktions-, Ausbauholz und Holzprodukten gegenüber heute um 80 % auf 4.5 Mio. m ³ /Jahr.
	Steigerung des Verbrauchs an Waldenergieholz um gut 65 % auf 2.1 Mio. m ³ /Jahr.
Holznutzung:	Steigerung der Nutzung um 70 % auf 8.5 Mio. m ³ /Jahr.
	Davon 7.4 Mio. m ³ /Jahr aus genutztem Derbholz + 1.1 Mio. m ³ /Jahr Rinde und Reisig, dies vor allem zur energetischen Nutzung. Zusammen mit den natürlichen Abgängen verbleiben gut 20 % eines Baumes im Wald.
Produktion im Inland:	Deutliche Stärkung der inländischen Holzindustrie.
Aussenhandel:	Konstanter Aussenhandel gegenüber heute.

Kyoto optimiert

Holznutzung so, dass gleichzeitig mit einer grossen Zuwachsleistung grosse C-Senken im Wald entstehen. Es werden jährlich **8.5 Mio. m³/Jahr** an Waldnutz- und Waldenergieholz entnommen.

Mehr Holz im Bau (inkl. Möbel etc.) (+80 %)

Mehr Waldholz für Energie (+67 %)

Keine Veränderung im Aussenhandel

Kompromiss Senke/Nutzung

4.2.3 Szenario Baseline

Dieses Szenario beschreibt die Fortführung des heutigen Zustandes unter Beibehaltung der aktuellen Trends.

Weiterführung
des bisherigen Trends

Verbrauch:	Erhöhter Inlandverbrauch an Konstruktions-, Ausbauholz und Holzprodukten gegenüber heute um 20 % auf 3.0 Mio. m ³ /Jahr. Steigerung des Verbrauchs an Waldenergieholz um 20 % auf 1.5 Mio. m ³ /Jahr.
Holznutzung:	Steigerung der Nutzung um 18 % auf 5.9 Mio. m ³ /Jahr. Davon 5.4 Mio. m ³ /Jahr aus genutztem Derbholz + 0.5 Mio. m ³ /Jahr Rinde und Reisig, dies v.a. zur energetischen Nutzung. Zusammen mit den natürlichen Abgängen verbleiben rund 40 % eines Baumes im Wald.
Produktion im Inland:	Stärkung der inländischen Holzindustrie.
Aussenhandel:	Konstanter Aussenhandel gegenüber heute.

Baseline

Die Holznutzung im **Wald** erhöht sich in den kommenden 30 Jahren um rund 20 % auf **5.9 Mio. m³/Jahr** Waldnutz- und Waldenergieholz.

Etwas mehr Holz im Bau (+21 %)

Etwas mehr Waldholz für Energie (+22 %)

Keine Veränderung im Aussenhandel

4.2.4 Szenario Reduzierte Waldpflege

Szenario, das den Effekt einer gegenüber heute stark verringerten Holznutzung und geschrumpften inländischen Holzindustrie aufzeigt.

Senkenwald

Da mit konstantem Aussenhandel und der deutlich reduzierten inländischen Nutzung der heutige Verbrauch nicht aufrecht erhalten werden kann, muss der Verbrauch dem zur Verfügung stehenden Holz angepasst werden. Das heisst, dass der Bau- und der Energiewirtschaft deutlich weniger Holz zu Verfügung steht.

Verbrauch:	Gegenüber heute um 24 % verringerter Verbrauch an Konstruktions-, Ausbauholz und Holzprodukten von 1.9 Mio. m ³ /Jahr. Sehr starke Verringerung des Verbrauchs an Waldenergieholz um gut 80 % auf 0.24 Mio. m ³ /Jahr.
Holznutzung:	Verringerung der Nutzung um 40 % auf 3.0 Mio. m ³ /Jahr. Davon 2.8 Mio. m ³ /Jahr aus genutztem Derbholz sowie 0.2 Mio. m ³ /Jahr Rinde und Reisig, dies vor allem zur energetischen Nutzung. Infolge der hohen natürlichen Abgänge bleiben ungerechnet insgesamt gut 60 % eines Baumes im Wald.
Produktion im Inland:	Deutliche Schwächung der inländischen Holzindustrie.
Aussenhandel:	Konstanter Aussenhandel gegenüber heute.

Reduzierte Waldpflege

Die Jahresnutzung im Schweizer **Wald** reduziert sich um 40 % auf **3.0 Mio. m³/Jahr** Waldnutz- und Waldenergieholz.

Deutlich weniger Holz im Bau (-24 %)

Viel weniger Waldholz für Energie (-81 %)

Keine Veränderung im Aussenhandel

5 > CO₂-Effekte der Szenarien in der Schweiz

Da in den Abbildungen die Einsparungseffekte von Treibhausgasen dargestellt werden, gilt: je negativer die Werte desto grösser die Einsparungen und je positiver die Werte desto grösser die zusätzlichen Emissionen. Dargestellt werden jeweils die Veränderungen pro Jahr sowie die über die Jahre summierten (also kumulierten) Werte.

Je negativer, desto besser

Bei der Wald- und Holznutzung können vier klimarelevante Effekte unterschieden werden:

Klimarelevante Effekte

- > die C-Lagerbildung im Wald,
- > die C-Lagerbildung in Holzprodukten,
- > die materialbezogenen Substitutionseffekte aus der Verwendung von Holz statt anderer Materialien,
- > die energetische Substitution aus der Verwendung von Holz anstelle fossiler Energieträger.

In den folgenden Kapiteln wird nun detailliert auf die einzelnen schweiz-bezogenen CO₂- Effekte sowie einige wirtschaftliche Fragen eingegangen.

5.1 Waldwirtschaft Schweiz

5.1.1 Veränderung des stehenden Holzvorrates im Wald

Die Resultate der Vorratsveränderung im stehenden Wald widerspiegeln die Holznutzungsunterschiede bei den Szenarien. So liefert das Szenario *Reduzierte Waldpflege* mit deutlichem Abstand die besten Werte, weil hier vor allem der Aufbau von C-Lagern im Wald gefördert wird. Die tiefsten Vorratsveränderungen weist das Szenario *Zuwachs optimiert* auf, weil hier der Zuwachs möglichst vollständig abgeschöpft und materiell oder energetisch genutzt wird. Bemerkenswert ist, dass auch mit dieser Nutzungsstrategie die Holzvorräte im Wald noch bis zu 4 Mio. t CO₂ oder 4 m³/ha und Jahr zunehmen und am Schluss der Betrachtungsperiode die besten jährlichen Vorratsveränderungen resultieren (vgl. Abb. 12⁵³).

Unterschiedliche
Holznutzungsstrategien

⁵³ Die markanten Kurvenschwankungen kommen aufgrund der Überführung der im Jahr 2000 extrem unausgeglichenen Altersklassen in den Regionen und den Standortgüteklassen in eine ausgeglichene Altersklassenverteilung zustande. So ist es z. B. möglich, dass beim Szenario *Zuwachs optimiert* in den Jahren 2050 bis 2070 gleichzeitig eine grosse Holzmenge geschlagen wird.

Abb. 12 > Jährliche Vorratsveränderung im stehenden Schweizer Wald (lebende Baubiomasse ohne Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen)

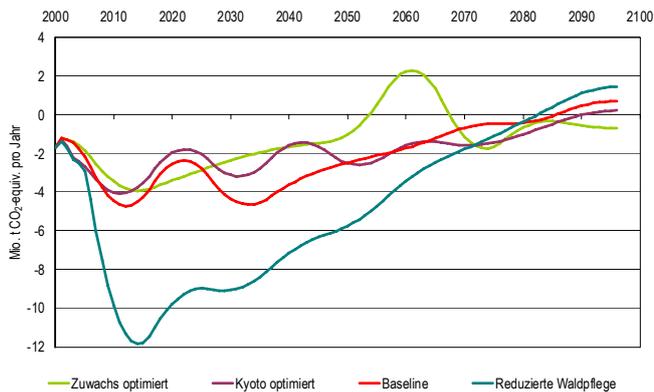
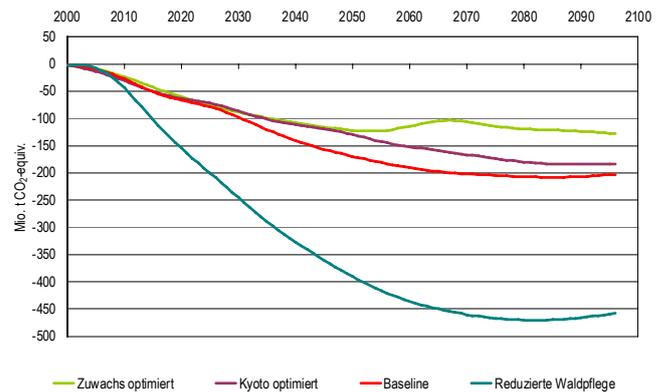


Abb. 13 > Kumulierte Vorratsveränderung im stehenden Schweizer Wald (lebende Baubiomasse ohne Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen)



Dargestellt werden hier die Veränderungen der C-Lager der gesamten lebenden Baum-Biomasse, d.h. Schaftholz in Rinde mit Stock + Wurzeln + Nadeln/Laub + Astreisig + Astderbholz, umgerechnet in CO₂-Äquivalent.

Ab rund 2080 führt das Szenario *Reduzierte Waldpflege* zu sinkenden Vorräten im Schweizer Wald, dies aufgrund der Zunahme der natürlichen Abgänge. Der Wald wird also zur Quelle von CO₂-Emissionen. Dies gilt auch in einem geringeren Masse für die Szenarien *Baseline* und *Kyoto optimiert*. Infolge des ungünstigeren Altersaufbaus und der hohen Vorräte steigt beim Szenario *Reduzierte Waldpflege* ausserdem das Risiko von Waldzusammenbrüchen bei Sturm- oder anderen Naturereignissen deutlich an. Im Vergleich der Szenarien weist dieses Szenario das höchste Risiko gegenüber solchen Bedrohungen auf. Deshalb könnte der Zeitpunkt, ab welchem beim Szenario *Reduzierte Waldpflege* der Wald zur Quelle wird, auch deutlich früher eintreten.

Schlechte Langzeitprognose und hohes Risiko für Senkenwald

5.1.2 Auswirkungen auf die Totholzbilanz

Das liegengelassene Holz aus Abraum und natürlichen Abgängen führt einerseits zu einer Erhöhung der C-Lager in und auf dem Boden (Abb. 14, ausgezogene Kurven), andererseits zu CO₂-Emissionen infolge der Ausgasung von C aus vermoderndem Holz (Abb. 14, gestrichelte Linie). Abb. 15 zeigt die Summe der beiden jährlichen Effekte.

Effekte des liegenden Holzes

Die Ausgasung überwiegt die Erhöhung des C-Lagers in und auf dem Boden praktisch zu jeder Zeit. Liegengelassenes Holz führt also trotz C-Einlagerung in den Boden bei jedem Szenario netto zu einer erhöhten CO₂-Emission.

C-Ausgasung ist grösser als C-Einlagerung

Abb. 14 > Vergleich der jährlichen C-Effekte von Totholz in und auf dem Boden (–) und in der Atmosphäre (–) im Schweizer Wald

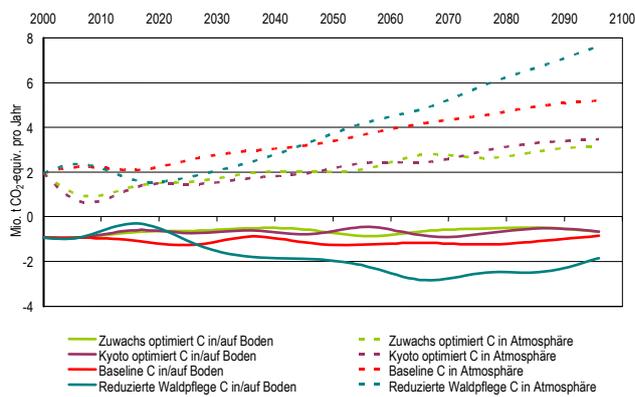
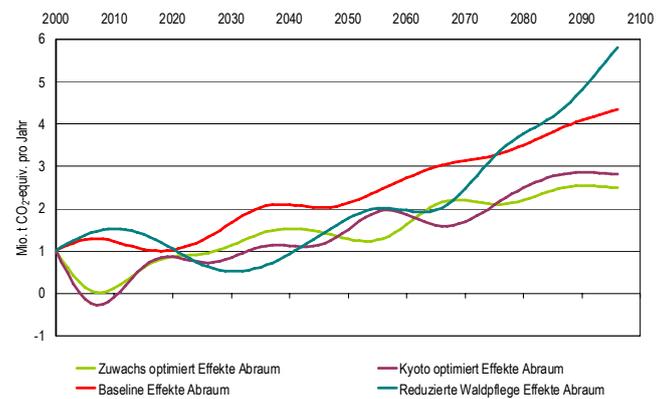


Abb. 15 > Summe der jährlichen C-Effekte von Totholz im Schweizer Wald



In der Summe der Effekte des Abraums und der natürlichen Abgänge schneiden die Szenarien *Reduzierte Waldpflege* und *Baseline* am schlechtesten ab – dies aufgrund des hohen Anteils an liegengelassenem Holz (*Baseline*) und der hohen Mortalität gegen Ende des Jahrhunderts (*Reduzierte Waldpflege*).

5.1.3 Summe der Effekte im Schweizer Wald

Die Überlagerung der Effekte aus Baumwachstum, Holzernte und natürlichen Abbauprozessen von Abraum und natürlichen Abgängen bzw. Aufbau des C-Lagers im Boden ergibt den tatsächlichen CO₂-Effekt des Schweizer Waldes (Abb. 16 und Abb. 17).

Abb. 16 > Jährliche Summe der Effekte im Schweizer Wald

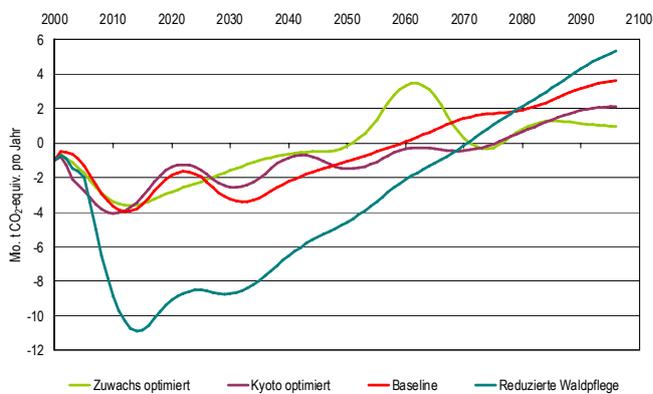
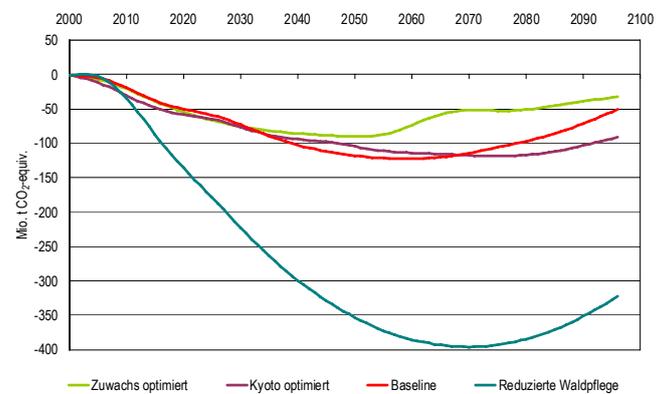


Abb. 17 > Kumulierte Summe der Effekte im Schweizer Wald



Wie im vorangehenden Kapitel 5.1.2 gezeigt, nehmen die CO₂-Emissionen aufgrund des Abraums und der natürlichen Abgänge je länger je mehr zu. Der Wald in seiner Gesamtheit wird deshalb bei allen Szenarien mit der Zeit zur Quelle; beim Szenario *Zuwachs optimiert* erstmals ab 2050, bei den restlichen Szenarien später. Den schlechtesten Trend weisen diesbezüglich die Szenarien *Reduzierte Waldpflege* und *Baseline* auf (vgl. Abb. 16).

Wald wird überall zur Quelle

Kumuliert man die jährlichen Effekte bis ans Ende des Betrachtungszeitraumes (2096), erzielen alle Bewirtschaftungsszenarien einen positiven Effekt. Gegenüber dem Jahr 2000 resultiert im Wald in der Summe also eine CO₂-Senke (vgl. Abb. 17).

5.2 Holzwirtschaft Schweiz

Um die Mechanismen der Lager- und Flussveränderungen im Zivilisationskreislauf besser aufzeigen zu können, werden hier die Effekte bis ins Jahr 2150 dargestellt.

5.2.1 Vorratsveränderung im Zivilisationskreislauf

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 Fließgleichgewicht, d.h. es fliesst gleichviel Holz in ein Lager hinein wie hinaus. Die Lagerveränderungen streben dann gegen Null (vgl. Abb. 18).

Lagergleichgewicht

Abb. 18 > Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf

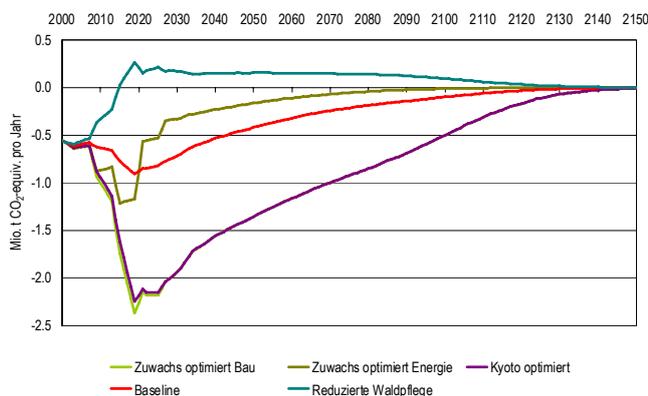
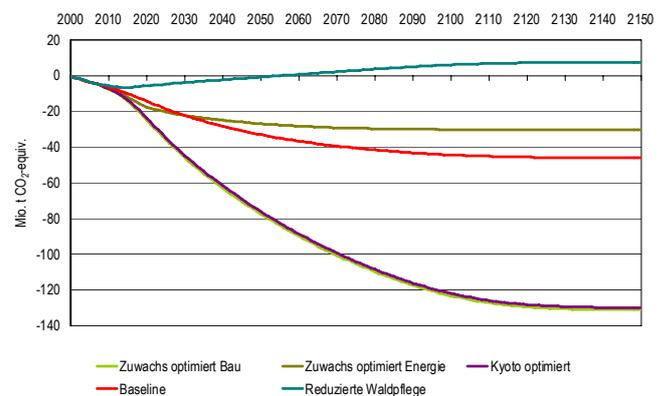


Abb. 19 > Kumulierte C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf



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.

Grosse Lagerwirkung der
Bau-Szenarien

Interessant ist der Vergleich der jährlichen Kurven des Energie-Szenarios mit dem Szenario *Baseline* (Abb. 18). Bis 2020 schneidet das Energie-Szenario besser ab als das Szenario *Baseline*; dies obwohl beim Szenario *Baseline* der Holzverbrauch im Bauwesen deutlich grösser ist. Die sehr starke Zunahme des Verbrauchs an Energieholz bewirkt zu Beginn rasch eine deutliche Lagerzunahme. Abb. 19 zeigt jedoch, dass durch den höheren Einsatz von Bau- und anderen Holzprodukten beim Szenario *Baseline* ab 2030 in der Summe eine grössere CO₂-Reduktionswirkung resultiert.

Das maximale CO₂-Einspar-Potenzial durch eine C-Lagerbildung im Gebäudepark kumuliert sich 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.

5.2.2 Materielle Substitutionseffekte

Die inländischen Materialsubstitutionseffekte setzen sich 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 (Abb. 20 und Abb. 21).

Abb. 20 > Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

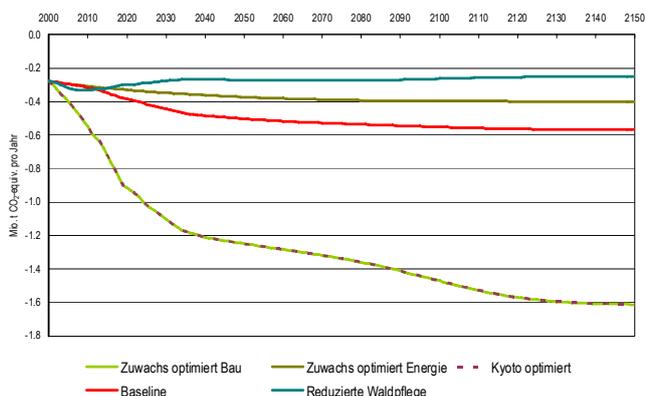
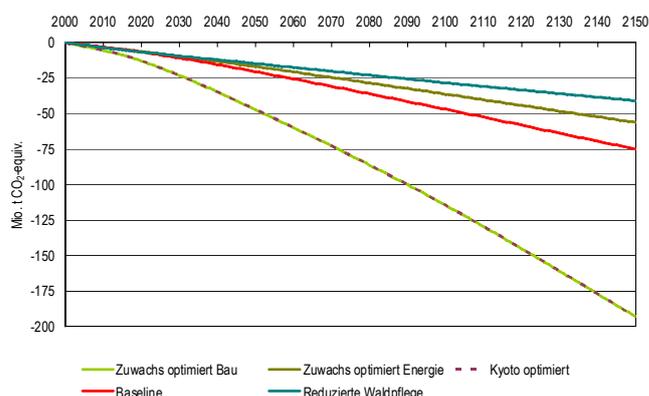


Abb. 21 > Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung



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*.

Vorteil der Bau-Szenarien

Die maximal mögliche CO₂-Äquivalent-Einsparung summiert sich bis ins Jahr 2096 (Endpunkt der Waldmodellierung) auf rund 110 Mio. t und bis 2150 auf rund 200 Mio. t (vgl. Abb. 21)⁵⁴. Der grösste jährliche Einspar-Effekt tritt gegen Ende des Betrachtungszeitraumes mit rund 1.6 Mio. t CO₂-Äquivalent auf (ca. 3 % der heutigen CO₂-Äquivalent-Emissionen), wobei die Zunahme der jährlichen Substitutionseffekte ab 2030 deutlich zurückgeht. Dies gilt, weil ab 2030 der Verbrauch 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 (vgl. Abb. 20).

5.2.3 Energetische Substitutionseffekte

Die zeitlichen Verläufe der CO₂-Effekte aus der energetischen Substitution gleichen denjenigen der materiellen Substitution, die Einsparungen sind aber deutlich grösser. Interessant ist der Vergleich der Bau-Szenarien mit dem Energie-Szenario. Zu Beginn schneidet das Energie-Szenario erwartungsgemäss am besten ab, da hier die energetische Waldholznutzung als direkte thermische Holzverwertung stark gesteigert wird.

Leichter Vorteil des Energie-Szenarios, erstaunliche Wirkung der Bau-Szenarien

⁵⁴ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

Ab ca. 2100 liefert aber das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* die besten Resultate (vgl. Abb. 22). In der Summe schneidet jedoch infolge der hohen CO₂-Reduktionseffekte zu Beginn der Betrachtungsperiode das Szenario *Zuwachs optimiert, Energie* trotzdem am besten ab (vgl. Abb. 23). Langfristig schneiden die Bau-Szenarien allerdings ähnlich gut ab wie das Energie-Szenario, weil die über die Zeit vermehrt anfallende, thermisch genutzte Altholzmenge stark zunimmt.

Da das bei den Bau-Szenarien vermehrt anfallende Restholz aus der Produktion ebenfalls laufend thermisch genutzt wird, sind die Unterschiede zwischen den Bau- und dem Energie-Szenario geringer als auf den ersten Blick erwartet. Das Szenario *Reduzierte Waldpflege* schneidet infolge der geringen Energie- und Restholzmengen erwartungsgemäss deutlich am schlechtesten ab.

Abb. 22 > Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

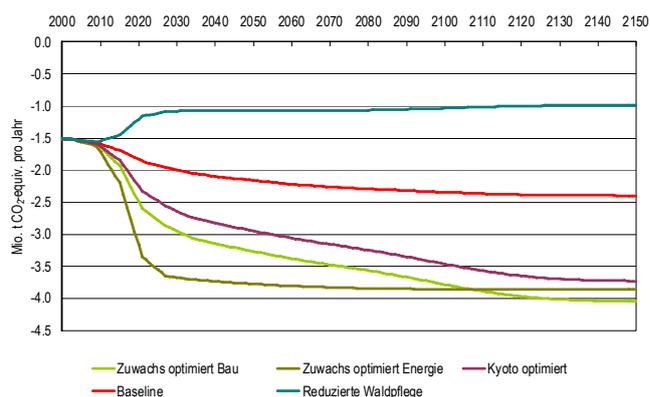
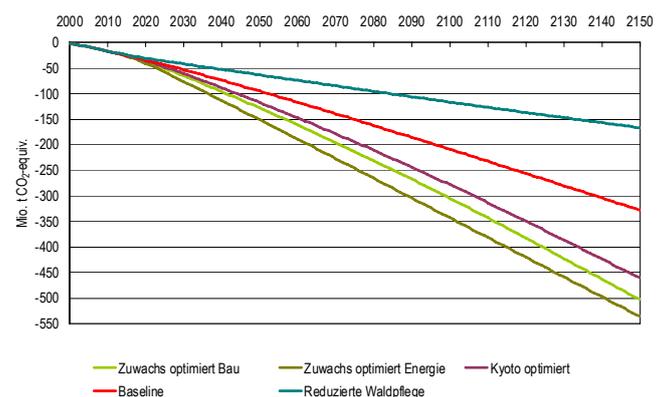


Abb. 23 > Kumulierte inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung



Da die Lageränderungen beim Energieholz infolge der langen Lebensdauern beim Konstruktionsholz bis über das Jahr 2130 anhalten (Altholzfluss), erreichen auch die energetischen Substitutionseffekte erst sehr spät konstante Werte (vgl. Abb. 22).

Die maximal möglichen Effekte werden gegen Ende der Betrachtungsperiode mit jährlich rund 4 Mio. t CO₂-Einsparung erreicht. Das entspricht gut 7% der heutigen jährlichen CO₂-Äquivalent-Emissionen. In 150 Jahren lassen sich mit dem *Szenario Zuwachs optimiert, Energie* maximal knapp 550 Mio. t CO₂-Äquivalent einsparen⁵⁵.

⁵⁵ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

5.2.4 Summe der Effekte des Zivilisationskreislaufes

Die Summe der Effekte des Zivilisationskreislaufes setzt sich aus den einzelnen Effekten der Holz-Lagerveränderungen sowie der materiellen- und energetischen Substitution zusammen.

Werden die Szenarien miteinander verglichen, schneiden die Bau-Szenarien deutlich am besten ab. Infolge des Verbrauchsrückgangs beim Szenario *Reduzierte Waldpflege* verschlechtert sich bei diesem Szenario die CO₂-Bilanz gegenüber heute sogar.

Rangfolge der Szenarien

Abb. 24 > Summe der jährlichen CO₂-Effekte im Zivilisationskreislauf in der Schweiz

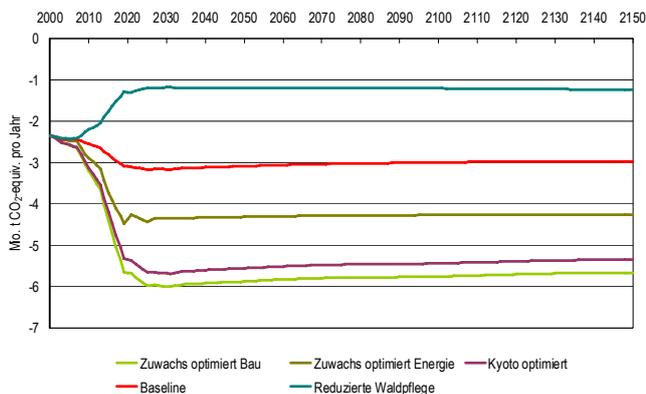
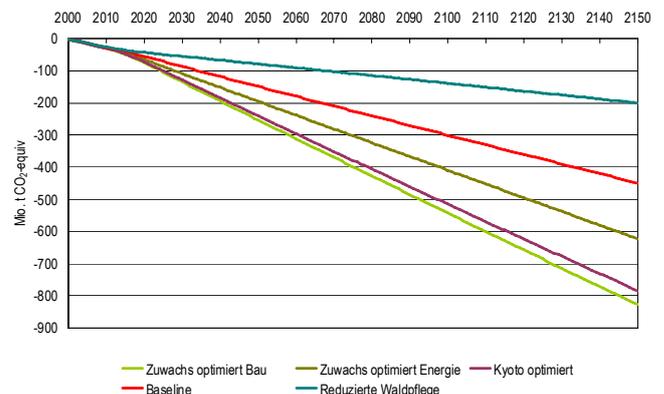


Abb. 25 > Summe der kumulierten CO₂-Effekte im Zivilisationskreislauf in der Schweiz



In der Summe ergeben die Effekte des Zivilisationskreislaufes Einsparungen von maximal 6 Mio. t CO₂-Äquivalent, was 12 % der heutigen CO₂-Äquivalentemissionen entspricht. Diese Einsparung wird ab rund 2025 erreicht und über die gesamte Betrachtungsperiode annähernd beibehalten (vgl. Abb. 24).

Bis 2096 lassen sich so gegenüber heute gut 500 Mio. t CO₂-Äquivalent einsparen; bis Ende des Betrachtungszeitraumes im Jahr 2150 sind es sogar gut 800 Mio. t CO₂-Äquivalent⁵⁶.

⁵⁶ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

5.3 Beitrag und zeitliche Dynamik der einzelnen CO₂-Effekte in der Schweiz

Interessant ist es nun, die Bereiche Waldwirtschaft (lebende Baumbiomasse + Totholz/Reisig und Boden-Kohlenstoff) und Zivilisationskreislauf (Holzlager + Materialsubstitution + Energiesubstitution) bezüglich ihrer Senkenleistung zu vergleichen.

5.3.1 Vergleich Wald/Zivilisationskreislauf

Weil die Effekte des Waldes nur bis 2096 modelliert wurden, werden in diesem Kapitel auch die Effekte des Zivilisationskreislaufes nur bis zu diesem Zeitpunkt ausgewiesen.

Vergleicht man die Effekte der einzelnen Szenarien bei der Waldwirtschaft und dem Zivilisationskreislauf, treten die unterschiedlichen Wirkungen der einzelnen Bewirtschaftungs- und Nutzungsstrategien deutlich hervor. Während beim Szenario *Reduzierte Waldpflege* die CO₂-Effekte im Wald bis 2065 deutlich grösser sind als in der Holzwirtschaft, sind die Waldeffekte bei den anderen Szenarien nur von untergeordneter Bedeutung (vgl. Abb. 26 und Abb. 27).

Unterschiedliche Wichtigkeit
des Waldes

Abb. 26 > Vergleich der totalen jährlichen CO₂-Effekte im Wald (-) und im Zivilisationskreislauf (-) in der Schweiz

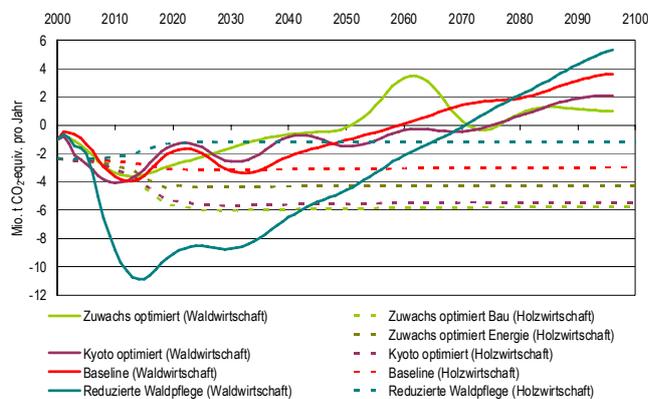
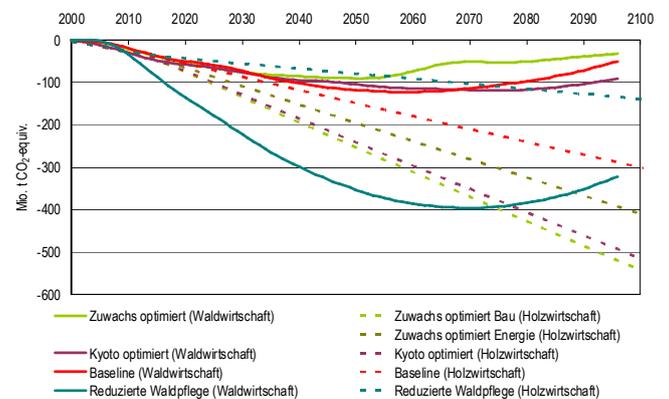


Abb. 27 > Vergleich der totalen kumulierten CO₂-Effekte im Wald (-) und im Zivilisationskreislauf (-) in der Schweiz



Sehr deutlich ist auch ersichtlich, dass die Effekte im Zivilisationskreislauf (v.a. materielle- und energetische Substitution) eine nachhaltige, stetige CO₂-Reduktion bewirken. Dem gegenüber verringern sich die Lager-Effekte im Wald wieder und führen gegen Ende der Betrachtungsperiode sogar zu einem deutlichen Abbau der Lager und steigenden CO₂-Emissionen (vgl. Abb. 26).

Nachhaltige Substitutionswirkung

5.3.2 **Vergleiche innerhalb des Zivilisationskreislaufes**

Der Vergleich der Effekte innerhalb des Zivilisationskreislaufes zeigt z.T. ebenfalls grosse mengenmässige aber auch zeitliche Unterschiede.

Bei den Holzlagern treten die maximalen jährlichen CO₂-Effekte deutlich früher ein als bei der materiellen Substitution (um 2020) und streben gegen Ende der Betrachtungsperiode gegen Null (vgl. Abb. 28 und Abb. 29). Bei der materiellen Substitution werden dem gegenüber die Effekte stetig grösser, erreichen aber nie die jährlichen Effekte der Holzlager. Über 150 Jahre betrachtet lässt sich mit materieller Substitution jedoch mehr CO₂ einsparen als mit der Vergrösserung der Holzlager (vgl. Abb. 30 und Abb. 31).

Vergleich Holzlager / Materielle Substitution

Abb. 28 > Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf gegenüber dem Jahr 2000

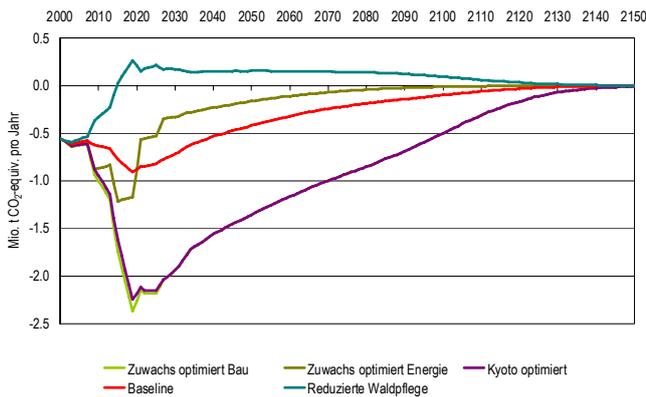


Abb. 29 > Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

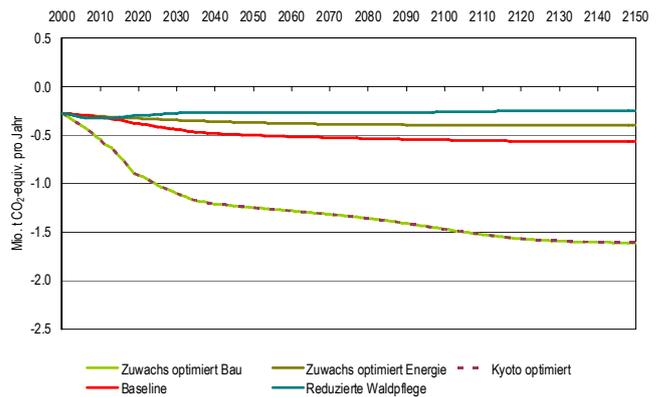


Abb. 30 > Kumulierte inländische C-Lagerveränderung im Zivilisationskreislauf gegenüber dem Jahr 2000

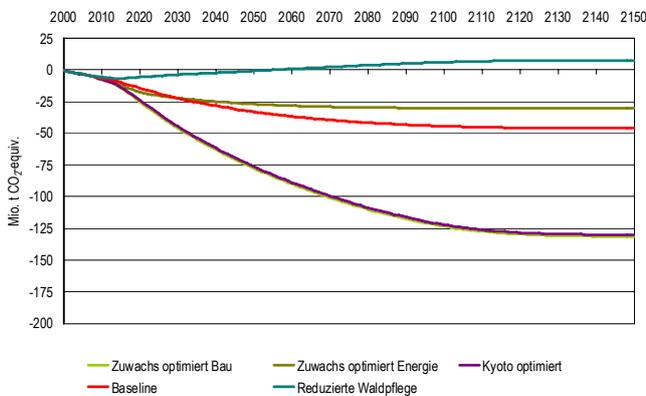
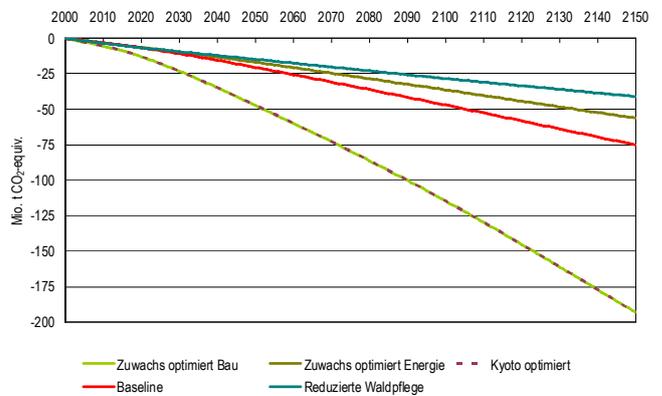


Abb. 31 > Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung



Vergleicht man die Effekte der energetischen mit der materiellen Substitution, erweisen sich die jährlichen energetischen Effekte im Inland als gut doppelt so gross wie diejenigen der materiellen Substitution (Abb. 32 und Abb. 33).

**Energetische Substitution
viel wirksamer als materielle
Substitution**

Abb. 32 > Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

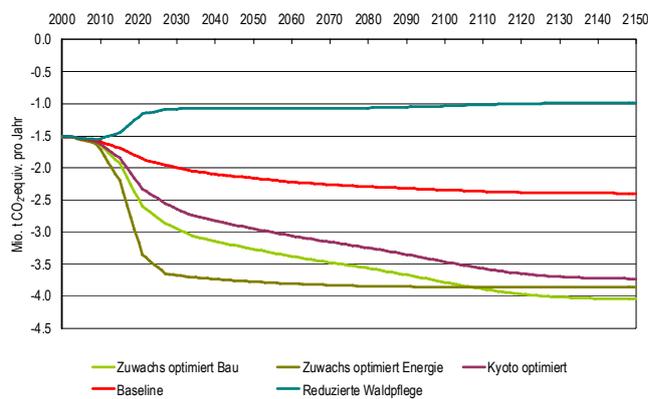


Abb. 33 > Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

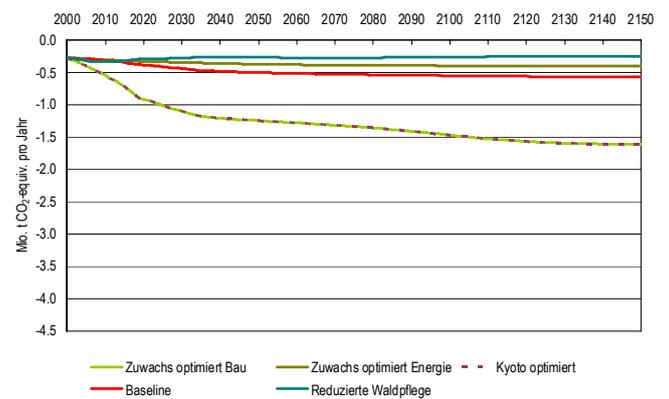


Abb. 34 > Kumulierte inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung

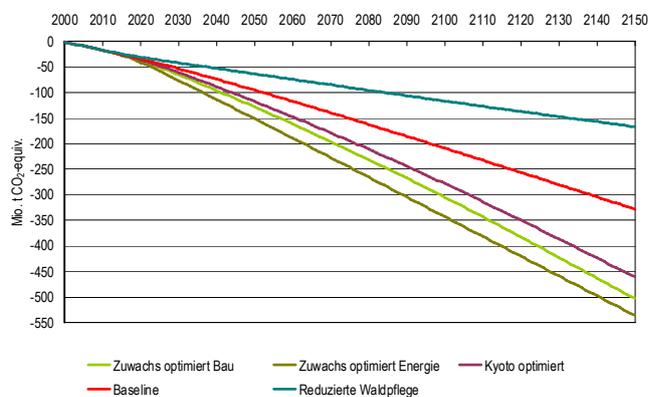
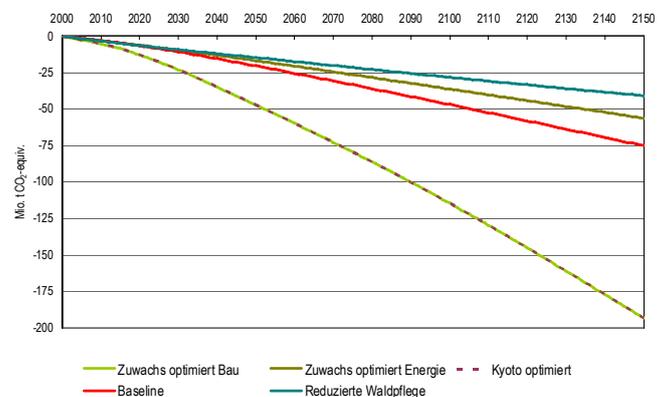


Abb. 35 > Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung



Kumuliert betragen die Effekte der materiellen Substitution im Jahr 2150 nur noch rund ein Drittel der energetischen Substitution (vgl. Abb. 34 und Abb. 35).

Bei den Bau-Szenarien ist der materielle Substitutionseffekt viel grösser als beim Energie-Szenario. Der energetische Substitutionseffekt ist jedoch bei beiden Szenarien fast identisch. Dies ist deshalb der Fall, weil bei einer materiellen Nutzung von Holz dessen energetische Nutzung nur zeitlich verzögert wird (energetische Altholzverwertung) und bei der Herstellung der Holzprodukte Restholz anfällt, das sofort energetisch genutzt wird (vgl. dazu auch Kap. 5.2.3). Dem gegenüber weist die energetische Holzverwertung keine Effekte bei der Materialsubstitution auf. Deshalb schneidet hier das Energie-Szenario deutlich schlechter ab.

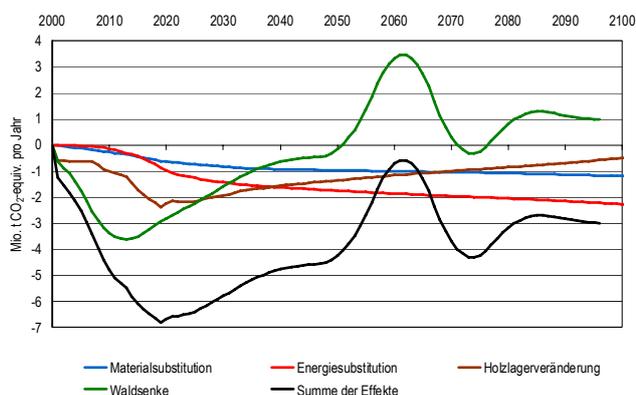
**Energetische Substitution mit
Bau-Szenario kombinierbar**

5.3.3 Zeitliche Abfolge der CO₂-Effekte anhand eines Szenarios

Vergleicht man die jährlichen CO₂-Effekte anhand eines einzelnen Szenarios, kann man die zeitliche Abfolge der CO₂-Wirkung anschaulich aufzeigen (vgl. Abb. 36). Dazu werden die Wirkungen bis zum Jahr 2000 ausgeblendet. Es werden also nur die Wirkungen gezeigt, die Folge des betrachteten Szenarios *Zuwachs optimiert, Bau* sind, also die zusätzlichen Lagereffekte und die Substitutionseffekte aus dem zusätzlich genutzten Holz bezogen auf das Jahr 2000. Deshalb beginnen die Effekte im Gegensatz zu den vorherigen Abbildungen im Jahr 2000 bei Null.

Wirkungen ab dem Jahr 2000

Abb. 36 > Zeitliche Abfolge der einzelnen jährlichen Lager- und Material-Effekte anhand des Szenarios *Zuwachs optimiert, Bau*, bezogen auf das Jahr 2000



Die Lagerveränderungen im Wald (grüne Kurve) und im Zivilisationskreislauf (braune Kurve) bewirken zu Beginn die grössten CO₂-Einsparungen. Das gemeinsame Maximum wird dabei zwischen 2015 und 2020 erreicht. Ab rund 2035 überwiegen dann die Substitutionseffekte (blaue Kurve Material; rote Kurve Energie) die Lagereffekte; die Lager- und Substitutionseffekte lösen sich hier ab. Das Maximum der Effekte tritt bereits um das Jahr 2020 auf.

Deutliche Abfolge der Effekte

Der markante Buckel bei der Waldsenke stammt aus der Wald-Modellierung und spiegelt eine temporäre Vorratsabnahme im stehenden Holzvorrat (vgl. Fussnote S. 49). Ab ca. 2080 bleibt der Holzvorrat im Wald konstant; negativ wirkt sich die Zersetzung des Abraums aus der Nutzung aus.

5.4 Summe der CO₂-Effekte in der Schweiz

In der Summe aller Effekte liefert das Szenario *Reduzierte Waldpflege* bezogen auf die Schweiz dank der grossen Waldsenkenwirkung über lange Zeit (bis 2045) den stärksten CO₂-Einspar-Effekt (vgl. Abb. 37). Allerdings ist dabei nicht berücksichtigt, dass nach den geltenden Kyoto Regeln nur ein geringer Teil dieser Erhöhung der Waldsenke offiziell anrechenbar ist. Zusätzlich bewirkt dieses Szenario ab ca. 2075 einen steigenden CO₂-Ausstoss. Dies ist hauptsächlich bedingt durch die Quellenwirkung des Waldes. Da das Risiko von Waldzusammenbrüchen bei diesem Szenario am grössten ist, könnte dieser Effekt aber auch viel früher auftreten. Weiter muss berücksichtigt werden, dass in diesem Szenario der zukünftige Verbrauch an Holz im Bau- und Energiewesen stark zurückgefahren wird. Das heisst, dass entweder die zukünftige Bautätigkeit und Energieverwendung reduziert werden muss (in dieser Studie so angenommen), oder dass das fehlende Holz durch Nicht-Holz-Produkte und fossile Energieträger kompensiert werden muss. Dies verschlechtert die Bilanz für das Szenario *Reduzierte Waldpflege* zusätzlich. Vor diesem Hintergrund erweisen sich die Bau-Szenarien für die Schweiz als nachhaltigere Varianten.

Bau-Szenarien am nachhaltigsten,
Senken-Szenario am
risikoreichsten

Abb. 37 > Totale Effekte Schweiz, pro Jahr

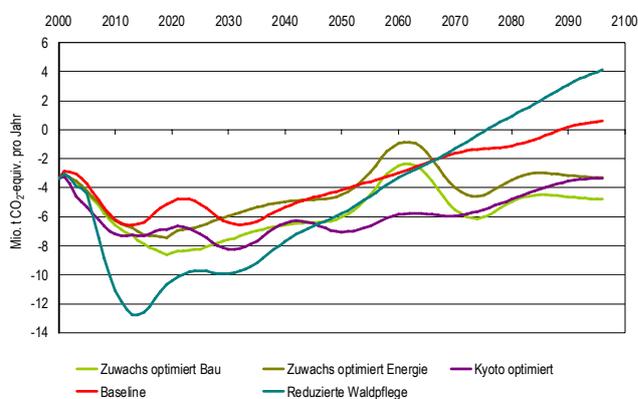
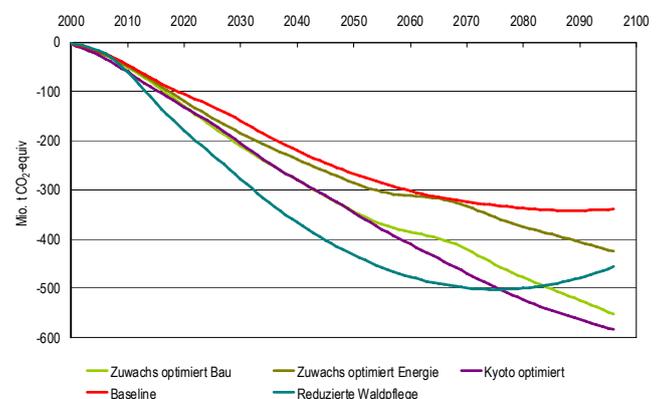


Abb. 38 > Totale Effekte Schweiz, kumuliert



Mit den Bau-Szenarien lassen sich in der Schweiz um das Jahr 2025 jährlich gut 8 Mio. t CO₂-Emissionen einsparen (vgl. Abb. 37). Das entspricht gut 15 % der heutigen jährlichen CO₂-Äquivalent-Emissionen von 52 Mio. t. Bis gegen Ende dieses Jahrhunderts könnten damit kumuliert ca. 550 Mio. t CO₂ eingespart werden (vgl. Abb. 38)⁵⁷. Das zeigt, dass die hier diskutierten Effekte durchaus von Bedeutung sind.

Relevanter CO₂-Effekt

Die in den obigen Abbildungen und allen vorangehenden Kapiteln dargestellten Resultate zeigen den Gesamteffekt ab dem Jahr 2000. Um den zusätzlichen Effekt gegenüber dem Jahr 2000 zu bestimmen, müssen von den dargestellten Effekten jeweils der

Umrechnung und Anwendung der
Resultate auf Kyoto-
Verpflichtungen

⁵⁷ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf den im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlichen Effekt.

Substitutionseffekt der Holzanwendung, der schon im Jahre 2000 wirksam war, abgezogen werden (ca. 1.8 Mio. t CO₂-Äquivalent).

Für das Kyoto-Protokoll können die zusätzlichen Substitutionseffekte ab 1990 angerechnet werden. Weiter werden in der 1. Verpflichtungsperiode nur die Substitutionseffekte der Holzanwendung nicht aber eine Erhöhung des Holzlagers im Zivilisationskreislauf angerechnet. Zudem kann sich die Schweiz die Senkenleistung des Waldes nur bis zu maximal 1.8 Mio. t CO₂ pro Jahr im Kyoto-Protokoll anrechnen. Vor diesem Hintergrund stellt das Szenario *Reduzierte Waldpflege* keine sinnvolle Option dar.

Auch wenn man berücksichtigt dass nur der zusätzliche Effekt zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen führt, werden mit dem Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* jährlich immer noch rund 3 Mio. t CO₂ einsparen. Das entspricht gut 5 % der heutigen CO₂-Äquivalent-Emissionen. Kurzfristig sind sogar über 6 Mio. t CO₂ vermeidbar, was rund 12 % der heutigen CO₂-Äquivalent-Emissionen entspricht.

5.5 Sozio-ökonomische Auswirkungen der Szenarien

Als Indikatoren der sozio-ökonomischen Effekte werden hier die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung und die Beschäftigungswirkung herangezogen.

5.5.1 Abschätzung der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung

Alle Szenarien gehen von einer Nutzungsmenge aus, welche das Zuwachspotenzial des Waldes langfristig nicht überschreitet. Die Managementpraktiken bei der Holznutzung, welche den Modellrechnungen im Wald zugrunde liegen, werden gegenüber dem aktuellen Zustand nicht verändert.

Nachhaltige Nutzung

Es ist zu erwarten, dass vor allem im Szenario *Reduzierte Waldpflege* die vorratsstarken und tendenziell überalterten Bestände bei Sturmereignissen und anderen Katastrophen schnell zu eigentlichen Quellen werden können. Die Untersuchung bildet dieses Risiko nicht ab, es muss aber durchaus in Betracht gezogen werden. Ähnliches gilt auch für das Szenario *Baseline*, in welchem eine deutliche Vorratzzunahme stattfindet.

Gefahren der hohen Vorräte

Das Szenario *Zuwachs optimiert* bringt die Waldungen in einen dauerhaft stabilen Zustand mit ansehnlichen Holzvorräten und einer auf Dauer hohen Zuwachsleistung. Das gilt auch für das Szenario *Kyoto optimiert*. Der Abraum wird zu einem erheblichen Teil energetisch genutzt. Es verbleibt aber ein gewisser Totholzanteil im Walde. Damit werden die Postulate der Biodiversität nicht ausser acht gelassen. Hingegen ist noch unklar, wie stark eine erhöhte Entnahme des Feinholzes zusammen mit Stoffeinwirkungen aus der Luft eine Nährstoffverarmung der Böden zur Folge haben würde.

Stabile Wälder

5.5.2 Abschätzung der Beschäftigungswirkung

Die folgende Zusammenstellung schätzt die Auswirkungen veränderter Verarbeitungsmengen gemäss der Szenarien im Inland im Jahr 2030 auf den einheimischen Arbeitsmarkt ab.

Tab. 13 > Abschätzung der Beschäftigungseffekte veränderter Nutzungs-, Verarbeitungs- und Verwendungsmengen von Holz in der Schweiz entsprechend den Szenarien

Beschäftigungswirkung	Zustand 2000		Reduzierte Waldpflege		Zuwachs optimiert			
	Produktion	Beschäftigte	Mehr-Produktion	Zusatz-Beschäftigte	Bau		Energie	
					Mehr-Produktion	Zusatz-Beschäftigte	Mehr-Produktion	Zusatz-Beschäftigte
Produktionszweig ¹	in 1000 m ³	Anzahl	in 1000 m ³	Anzahl ³	in 1000 m ³	Anzahl ²	in 1000 m ³	Anzahl ²
Waldwirtschaft	5000	7250	-2000	-2900	4200	2030	4200	2030
1. Verarb. Stufe	3070	5030	-822	-1350	2779	1520	-	-
2. Verarb. Stufe	400	8770	-156	-3430	529	3860	-	-
3. Verarb. Stufe	2160	65'700	-590	-17'950	1994	20'220	-	-
Total (gerundet)		86'800		-25'600		27'600		2000

Beschäftigungswirkung	Zustand 2000		Kyoto optimiert		Baseline	
	Produktion	Beschäftigte	Mehr-Produktion	Zusatz-Beschäftigte	Mehr-Produktion	Zusatz-Beschäftigte
Produktionszweig ¹	in 1000 m ³	Anzahl	in 1000 m ³	Anzahl ²	in 1000 m ³	Anzahl ²
Waldwirtschaft	5'000	7'250	3'500	1'690	900	650
1. Verarb. Stufe	3'070	5'030	2'779	1'520	925	760
2. Verarb. Stufe	400	8'770	529	3'860	178	1'950
3. Verarb. Stufe	2'160	65'700	1'994	20'220	530	8'060
Total (gerundet)		86'800		27'300		11'400

¹ Je ohne Holzstoff-, Zellstoff-, Papier- und Kartonherstellung, ausser bei der Waldwirtschaft

² Es wird davon ausgegangen, dass die neuen Arbeitsplätze in den Szenarien mit vermehrter Verarbeitung im Inland gegenüber den bisherigen die dreifache Produktivität aufweisen.

³ Der Verlust an Arbeitsplätzen im Szenario Reduzierte Waldpflege ist proportional zu den produzierten Mengen

Quelle: Berechnungen basierend auf Hofer, Taverna et al. (2004)

Nach den obigen Berechnungen können dank der Bau-Szenarien gegenüber dem Zustand 2000 bis ins Jahr 2030 gut 27'000 neue Arbeitsplätze dauerhaft generiert werden. Das Szenario *Reduzierte Waldpflege* bewirkt bis 2030 einen Verlust von über 25'000 Arbeitsplätzen. Hier muss allerdings einschränkend angemerkt werden, dass dieser Verlust massgeblich eine Folge des verringerten Holzverbrauches in der 3. Verarbeitungsstufe ist. Es wäre aber auch denkbar, dass bei einer verringerten Holznutzung durch Importe der Verbrauch auf heutigem Niveau gehalten wird. Dann wäre die 3. Verarbeitungsstufe von der reduzierten Holznutzung nur noch marginal betroffen. Beim Szenario *Baseline* resultieren gut 11'000 neue Arbeitsplätze. In dieser Berechnung nicht eingeschlossen sind evt. zusätzliche Arbeitsplätze, die im Umfeld der erweiterten energetischen Holzverwertung entstehen können, seien dies Arbeitsplätze in der

27'000 neue Arbeitsplätze

Maschinenindustrie oder auch beim feuerungstechnischen Personal. Die relativ bescheidene Zunahme der Beschäftigtenzahl beim Energie-Szenario könnte deshalb auch höher ausfallen. Am deutlich stärkeren Beschäftigungseffekt der Bau-Szenarien gegenüber den Energie-Szenarien ändert sich aber nichts.

Aufgrund der Publikation «Branchenprofil der Wald- und Holzwirtschaft 2001»⁵⁸ ist es möglich, eine Abschätzung der Wertschöpfung vorzunehmen. Dabei wird die Wertschöpfung pro Beschäftigter im Wald mit CHF 79'800, diejenige in der Holzwirtschaft mit CHF 81'400 angenommen. Nach Szenarien ergeben sich die in Tab. 14 aufgeführten, gerundeten Werte. Demnach lassen sich mit den Bau-Szenarien in der Wald- und Holzwirtschaft rund 2.2 Mia. Franken zusätzlich erwirtschaften. Für die 2.1 Mia. Franken Umsatzeinbusse beim Szenario *Reduzierte Waldpflege* gelten die selben Anmerkungen wie bei den Arbeitsplätzen. Für das Szenario Baseline ergibt sich gegenüber heute ab dem Jahr 2030 eine Wertschöpfungssteigerung von gut 900 Mio. Franken pro Jahr.

2.2 Mia. Franken
zusätzliche Wertschöpfung

Tab. 14 > Abschätzung der Wertschöpfungseffekte veränderter Nutzungs-, Verarbeitungs- und Verwendungsmengen von Holz in der Schweiz entsprechend den Szenarien

Wertschöpfung	Zustand 2000		Reduzierte Waldpflege	Zuwachs optimiert	
	pro Beschäftigter in CHF	Total in Mio. CHF		Bau	Energie
Produktionszweig ¹⁾			zusätzlich in Mio. CHF	zusätzlich in Mio. CHF	zusätzlich in Mio. CHF
Waldwirtschaft	79'800	580	-230	160	160
1. Verarb. Stufe	81'400	410	-110	120	-
2. Verarb. Stufe	81'400	710	-280	310	-
3. Verarb. Stufe	81'400	5'350	-1'460	1'650	-
Total (gerundet)		7'100	-2'100	2'200	160

Beschäftigungswirkung	Zustand 2000		Kyoto optimiert	Baseline
	pro Beschäftigter in CHF	Total in Mio. CHF	zusätzlich in Mio. CHF	zusätzlich in Mio. CHF
Produktionszweig ¹⁾				
Waldwirtschaft	79'800	580	130	50
1. Verarb. Stufe	81'400	410	120	60
2. Verarb. Stufe	81'400	710	310	160
3. Verarb. Stufe	81'400	5'350	1'650	660
Total (gerundet)		7'100	2'200	930

1) Je ohne Holzstoff-, Zellstoff-, Papier- und Kartonherstellung, ausser bei der Waldwirtschaft. Quelle: Berechnungen basierend auf Hofer, Taverna et al. (2004)

⁵⁸ Hofer, Taverna et al. 2004.

Sowohl bezüglich Beschäftigter als auch bezüglich Wertschöpfung beschränkt sich die Betrachtung hier auf die schweizerische Wald- und Holzwirtschaft. Es ist anzunehmen, dass infolge der Substitution anderer Produkte in diesen Branchen Arbeitsplätze verschwinden. Es ist allerdings nicht möglich, die Branchenbetrachtung mit Zahlen zur gesamten Volkswirtschaft zu ergänzen. Auch die Wirkung einer schweizerischen Nutzungs-, Produktions- und Verwendungspolitik gemäss einem der Szenarien im Ausland kann nicht quantifiziert werden. Einige qualitative Überlegungen müssen an dieser Stelle genügen:

- > Einem Gewinn an Arbeitsplätzen in der Wald- und Holzwirtschaft der Schweiz stehen Verluste in derselben Branche im Ausland gegenüber, soweit in der Schweiz Importprodukte durch einheimische Holzprodukte ersetzt werden. Dasselbe gilt auch, wenn Schweizer Holzexporte ausländische Holzprodukte ersetzen.
- > Soweit Schweizer Holzprodukte in der Schweiz oder im Ausland Produkte aus anderen Materialien substituieren, ist die Beschäftigungswirkung in den entsprechenden Herstellungsbranchen negativ; proportional reduziert sich die Wertschöpfung.
- > Wenn mit dem Mehr an Schweizer Holzprodukten Marktausweitungen abgedeckt werden, hat die Stärkung der schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft weder bei ausländischen Holzproduzenten noch bei Herstellern von Substitutionsprodukten negative Auswirkungen.

Beschränkung auf Schweizer
Wald- und Holzwirtschaft

5.5.3 Abschätzung für ein Autarkie-Szenario in der Schweiz

Um die Auswirkungen einer Holzknappheit, welche den Import von Holz und Holzprodukten einschränken oder sogar unterbinden könnte, abschätzen zu können, wurde das Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* mit eingestelltem Aussenhandel durchgerechnet. Da heute im Bereich Bau ein Importüberschuss besteht, musste gegenüber dem Ausgangsszenario *Zuwachs optimiert, Bau* mehr Holz in das Bauwesen als in die Energie geleitet werden. Die zur Verfügung stehende Holzmenge erlaubte jedoch immer noch die Energieholzmenge gegenüber heute ebenfalls um 60 % zu steigern (vgl. Anhang 3). Der Importüberschuss bewirkt auch, dass der ausländische Wald bei diesem Unterszenario «geschont» wird. Es wird im Ausland also weniger Holz geschlagen. Bei der Berücksichtigung dieses Effektes wurde davon ausgegangen, dass der Zustand des ausländischen Waldes und die Nutzungsverhältnisse denjenigen der Schweiz entsprechen. Hier muss allerdings mit grossen Unsicherheiten gerechnet werden.

Auswirkungen
globale Holzknappheit

Die Berechnungen zeigen auf den ersten Blick überraschend, dass dieses Szenario sowohl bei den Holzlager- und den Materialsubstitutionseffekten am besten und bei den Energiesubstitutionseffekten am zweitbesten abschneidet. Auch in der Summe der Effekte in der Schweiz schneidet die Autarkie sehr gut ab (vgl. Abb. 39 bis Abb. 42), dies aber nicht «dank» der geschlossenen Grenzen, sondern deshalb, weil hier am meisten Holz in das Bauwesen fliesst und dort verarbeitet wird (grosse Holzlager und grosse materielle und energetische Substitution). Eine Sensitivitätsuntersuchung hat ergeben, dass die verminderte Transportdistanz von viel kleinerer Bedeutung ist.

Gut dank viel Holz im Bauwesen

Abb. 39 > Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung, inkl. Autarkie

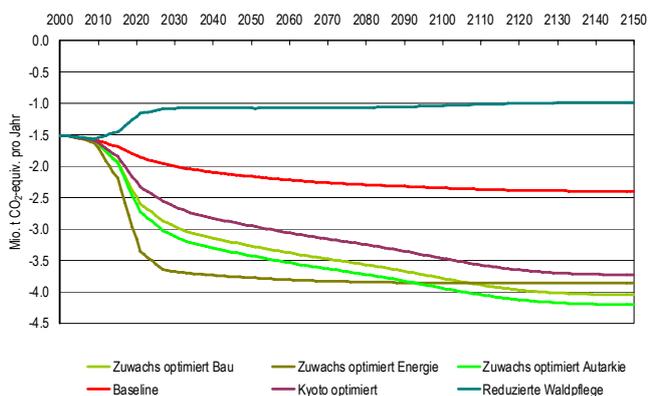


Abb. 40 > Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung, inkl. Autarkie

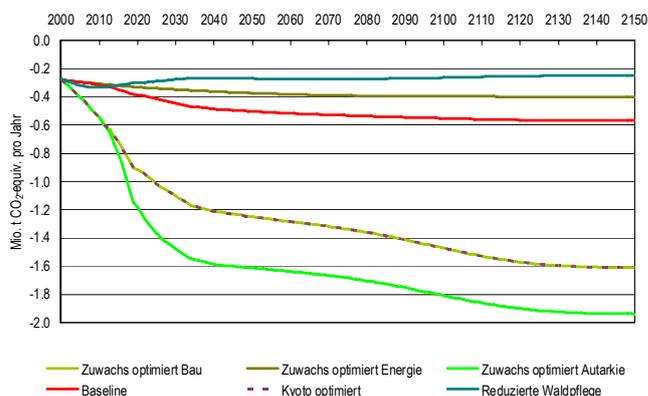


Abb. 41 > Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf, inkl. Autarkie

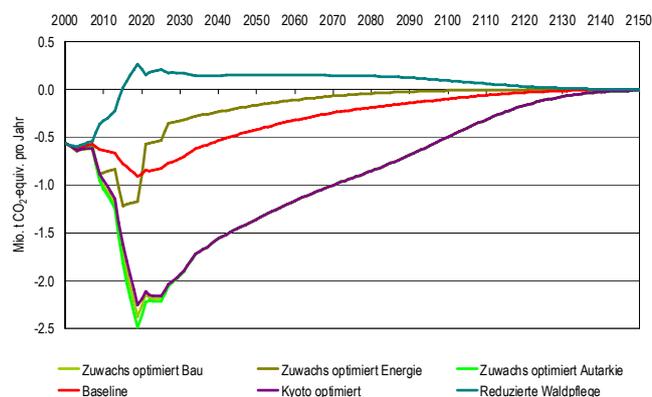
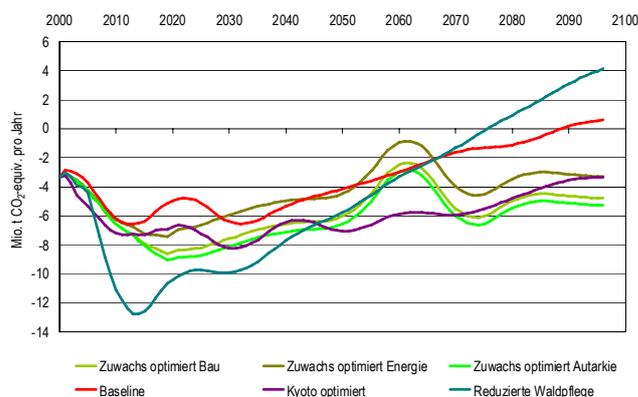


Abb. 42 > Totale jährliche Effekte Schweiz, inkl. Autarkie



Da ein eingestellter Aussenhandel jedoch nicht realistisch ist und die Aussagen infolge der Annahmen zum ausländischen Wald mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, wurden die Resultate dieses Unterszenarios nicht in die übrigen Vergleiche miteinbezogen. Aus den Resultaten lassen sich aber gleichwohl zwei gesicherte wichtige Schlüsse ziehen:

1. Die Schweiz könnte auch einen stark erhöhten Inlandverbrauch (sowohl im stofflichen wie auch im energetischen Bereich) durch eigenes Holz abdecken.
2. Je mehr Holz in das Bauwesen fliesst, desto grösser werden die gewünschten CO₂-Effekte. Eine Stärkung der einheimischen Holzindustrie und damit einhergehend der Export von Holzprodukten ist deshalb aus globaler Sicht zu begrüssen⁵⁹.

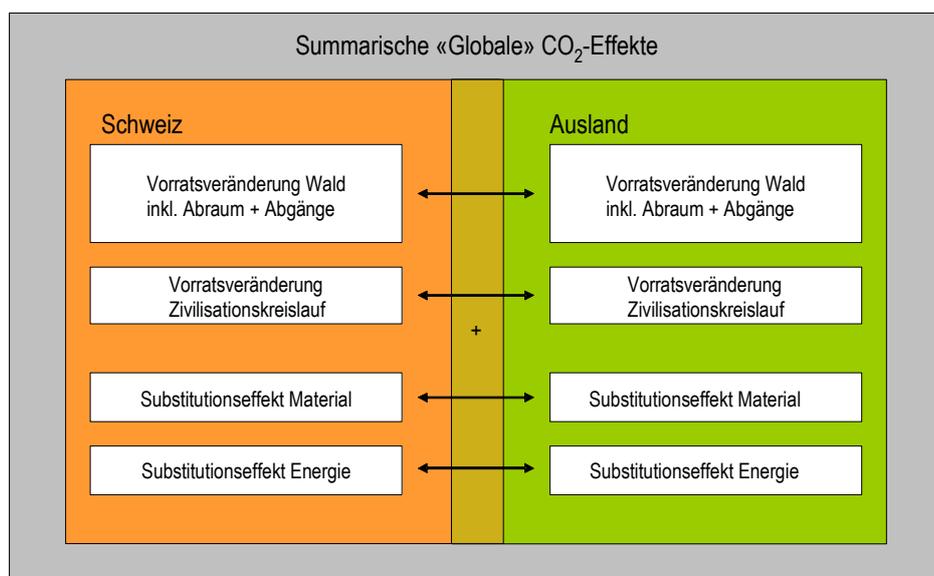
⁵⁹ Dies unter der Annahme, dass Schweizer Holzprodukte im Ausland Nicht-Holz-Produkte ersetzen.

Um die klimarelevanten Auswirkungen eines gesteigerten Exportes genauer abschätzen zu können, müssten die Effekte im ausländischen Wald besser untersucht werden. Bei einer Ausweitung der Schweizer Holzprodukt-Exporte würden im Ausland teils Holz- und teils Nicht-Holz-Produkte ersetzt werden. Damit würde wie im Falle eines Importstopps weniger ausländischer Wald geschlagen. Ob diese «Schonung» positive Effekte nach sich zieht, ist aber nicht sicher. Die Stabilität eines unternutzten ausländischen Waldes würde durch eine gesteigerte Nutzung allenfalls sogar gesteigert werden. Um diese Fragen beantworten zu können, müssten die gegenwärtigen Aussenhandels-Holzströme genauer untersucht werden. Das konnte im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt werden.

6 > Summe der in- und ausländischen CO₂-Effekte der Szenarien

Die in- und ausländischen CO₂-Effekte setzen sich aus der Summe der Treibhausgasemissionen in der Schweiz und im Ausland zusammen. Dabei müssen in der Schweiz und im Ausland dieselben Effekte berücksichtigt werden (vgl. Abb. 43).

Abb. 43 > Summe der in- und ausländischen CO₂-Effekte



6.1 Ausländische Gesamteffekte

Inländische Massnahmen im Bereich der Wald- und Holzwirtschaft haben auch Auswirkungen im Ausland. Durch den Import von fossilen Energieträgern oder von Halbfertigprodukten für die Herstellung von Holzprodukten fallen im Ausland CO₂-Emissionen an. Andererseits werden durch den Export von Schweizer Gütern im Ausland Produktionsemissionen vermieden.

Schweizer Aktivitäten haben auch im Ausland Auswirkungen

Die totalen ausländischen Effekte setzen sich wie in der Schweiz aus den Effekten im Wald und im Zivilisationskreislauf zusammen.

Abb. 44 > Totale ausländische Effekte, pro Jahr

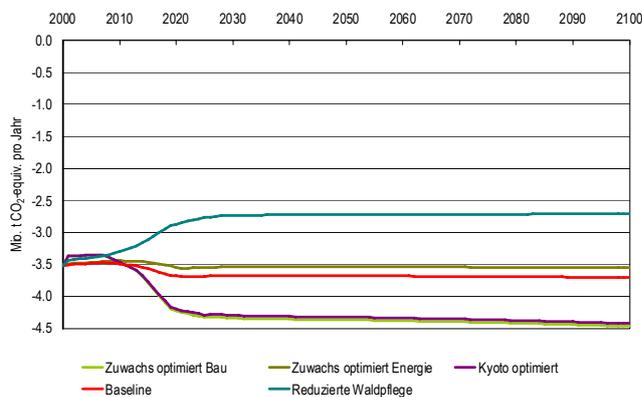
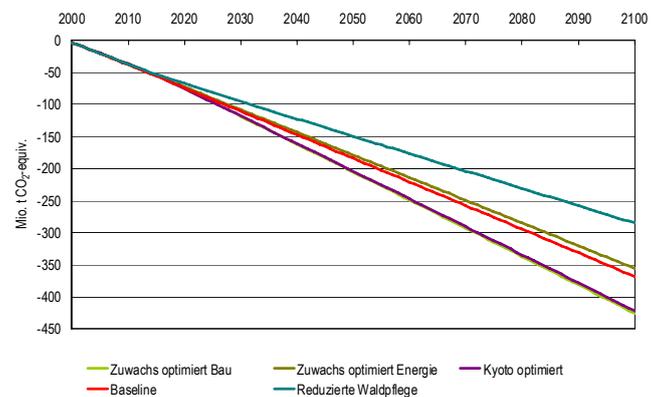


Abb. 45 > Totale ausländische Effekte, kumuliert



Die ausländischen Effekte treten hauptsächlich während der Verbrauchsveränderung im Inland von 2000 bis 2030 auf. Da sich auch im Ausland ab 2030 nur noch marginale Lagerveränderungen ergeben, verlaufen die jährlichen Resultatkurven ab diesem Zeitpunkt nahezu horizontal (Abb. 44). Die Reihenfolge der Kurven spiegelt die Zu- oder Abnahme des inländischen Verbrauches. Je mehr inländische Holzprodukte verwendet werden, desto grösser ist die CO₂-Einsparung im Ausland.

Grösster Effekt der Bau-Szenarien

Insgesamt könnten im Ausland jährlich maximal gut 4.5 Mio. oder bis Ende dieses Jahrhunderts maximal rund 420 Mio. t CO₂-Emissionen eingespart werden (vgl. Abb. 45)⁶⁰.

⁶⁰ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

6.2

Vergleich mit der Schweiz

Der Vergleich der jährlichen in- und ausländischen Effekte zeigt, dass zu Beginn der Betrachtungsperiode die CO₂-Reduktionseffekte in der Schweiz deutlich überwiegen (vgl. Abb. 46); dies unter der Annahme, dass der Aussenhandel konstant gehalten wird und damit Effekte im ausländischen Wald vernachlässigt werden können.

Grössere Effekte in der Schweiz

Abb. 46 > Vergleich der jährlichen CO₂-Effekte im Ausland und in der Schweiz

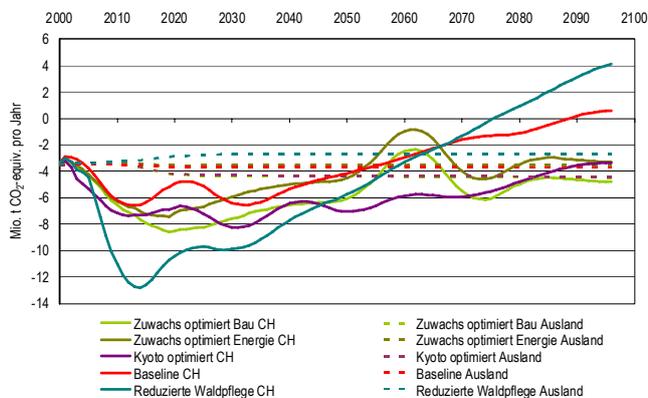
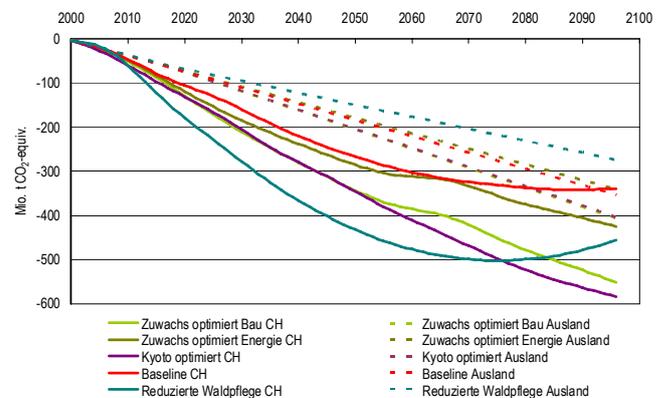


Abb. 47 > Vergleich der kumulierten CO₂-Effekte im Ausland und in der Schweiz



Infolge der grossen Effekte zu Beginn überwiegen die kumulierten inländischen CO₂-Einsparungen diejenigen im Ausland bis gegen Ende des Jahrhunderts (vgl. Abb. 47). Weil der Schweizer Wald nur bis 2096 modelliert wurde, kann der Vergleich nicht weitergezogen werden. Der Kurvenverlauf lässt aber erwarten, dass zumindest die Bau-Szenarien auch über das Jahr 2100 hinaus in der Schweiz die gleich grossen CO₂-Einspar-Effekte wie im Ausland erzielen werden.

6.3 Total der in- und ausländischen Effekte

In Abb. 48 und Abb. 49 werden die Summen aller Effekte der untersuchten Szenarien dargestellt, also die Summe der Effekte in der Schweiz und im Ausland («globale Effekte»). Langfristig gesehen haben die Szenarien *Kyoto optimiert* und *Zuwachs optimiert, Bau* deutlich die beste Kohlenstoffbilanz und weisen den nachhaltigsten Kurvenverlauf auf. Um das Jahr 2030 erzielen sie mit rund 12–13 Mio. t CO₂-Äquivalent-Einsparung pro Jahr die grössten Effekte, was rund 25 % der heutigen CO₂-Äquivalent-Emissionen der Schweiz entspricht (Abb. 48). Bis Ende dieses Jahrhunderts lassen sich mit diesen Szenarien gegenüber heute insgesamt rund 1000 Mio. t CO₂-Äquivalent einsparen (Abb. 49)⁶¹.

Bau-Szenarien am besten

Kurzfristig resultiert aus dem Szenario *Reduzierte Waldpflege* dank der grossen Senkenwirkung im Schweizer Wald die grösste CO₂-Einsparung (16 Mio. t CO₂ pro Jahr um das Jahr 2015). Langfristig gesehen handelt es sich aber um das schlechteste Szenario und führt gegen Ende der Betrachtungsperiode sogar zu einer Zunahme der CO₂-Emissionen – dies weil die sehr grossen Holzvorräte im Wald zu einer markanten Zunahme der natürlichen Mortalität führen. Bei diesem Szenario sind die Risiken für Waldzusammenbrüche zudem deutlich grösser als bei den übrigen Szenarien (vgl. Kap. 2.1.1 und Kap. 5.1.1). Auch muss hier ein Nutzenverzicht hingenommen oder durch Nicht-Holz-Produkte und fossile Energieträger kompensiert werden (siehe Kap. 5.4). Dieses Szenario muss deshalb als nicht-nachhaltig bezeichnet werden.

Senkenförderung nicht nachhaltig

Abb. 48 > Totale summierte in- und ausländische Effekte, pro Jahr

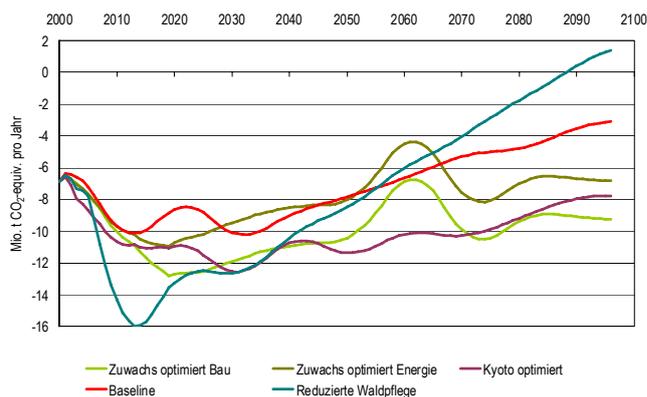
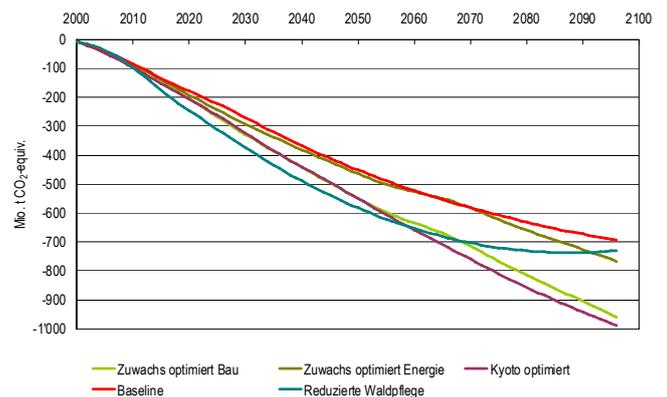


Abb. 49 > Totale summierte in- und ausländische Effekte, kumuliert



⁶¹ Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtmenge an genutztem Holz, nicht auf die im Vergleich zum Jahr 2000 zusätzlich genutzten Mengen.

Gegenüber den Bau-Szenarien (*Zuwachs optimiert, Bau* und *Kyoto optimiert*), bei denen eine gesteigerte Holzverwendung im Bauwesen angestrebt wird, weist das Energie-Szenario (*Zuwachs optimiert, Energie*) mit dem Fokus auf der energetischen Holzverwertung, zu jedem Zeitpunkt deutlich schlechtere Resultate auf (vgl. Abb. 48). Aufsummiert beläuft sich die Differenz bis Ende Jahrhundert auf rund 200 Mio. t CO₂-Äquivalent zugunsten der Bau-Szenarien (vgl. Abb. 49).

**Geringere Wirkung
des Energie-Szenarios**

Der Vergleich des Energie- und des Baseline-Szenarios zeigt, dass die beiden Szenarien bis 2065 etwa gleich abschneiden. Danach weist das Szenario *Baseline* aber einen deutlich schlechteren Trend auf und schneidet langfristig gesehen schlechter ab. Damit zeigt sich, dass eine Strategieänderung in Richtung vermehrter Holznutzung in der Wald und Holzwirtschaft auf jeden Fall angezeigt ist.

Strategiewechsel angezeigt

Wie schon in Kapitel 5.4 erwähnt, zeigen die dargestellten Resultate den Gesamteffekt ab dem Jahr 2000. Um den zusätzlichen Effekt gegenüber dem Jahr 2000 zu bestimmen, müssen von den dargestellten Effekten jeweils der Substitutionseffekt der Holz-anwendung, der schon im Jahre 2000 wirksam war, abgezogen werden (ca. 4.7 Mio. t CO₂-Äquivalent). Die resultierenden Effekte weisen eine ähnliche Form wie diejenigen bezogen auf die Schweiz auf. Dies weil der Aussenhandel konstant belassen wurde. Langfristig lassen sich global gesehen mit dem Szenario *Zuwachs optimiert, Bau* rund 5 Mio. t CO₂-Emissionen pro Jahr einsparen. Kurzfristig kann sogar eine Einsparung von gut 8 Mio. t pro Jahr im Vergleich zum Jahr 2000 erzielt werden. Das entspricht gut 9 % resp. sogar 15 % der aktuellen CO₂-Äquivalent-Emissionen.

**Ähnliche zusätzliche Effekte
wie in der Schweiz**

Das Szenario *Reduzierte Waldpflege* bewirkt in der Netto-Betrachtung gegenüber heute bereits ab rund 2065 zusätzliche CO₂-Emissionen. Der ungünstige Trend setzt wie in Abb. 48 ersichtlich schon um 2015 ein und hält bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes an. Ausserdem gelten die selben Einschränkungen wie schon in Kapitel 5.4 diskutiert (Nutzenverzicht oder Einsatz von Nicht-Holz-Produkten und fossilen Energieträgern). Dem gegenüber bewirken die Substitutions-Szenarien eine konstante Verbesserung der CO₂-Emissionen.

**Nicht nachhaltiges
Senkenszenario**

7 > Schlussfolgerungen

Globale Betrachtung – Inlandbetrachtung

In einem Land, dessen Wirtschaft international so stark verflochten ist wie die schweizerische, ist eine Betrachtung der sowohl inländischen wie auch ausländischen CO₂-Auswirkungen sinnvoll und angemessen. Es besteht sonst die Gefahr einer verzerrten Abbildung der Wirklichkeit und von Fehlbeurteilungen (z. B. Mehremissionen durch Verarbeitung des einheimischen Rohstoffes im Inland – Minderemissionen durch entfallende Substitutionsprodukt-Produktion im Ausland). Da die CO₂-Bilanzierung bis auf weiteres pro Land erfolgt, kann auf die Betrachtung der Wirkungen im eigenen Lande nicht verzichtet werden. Die Abklärungen haben aufgezeigt, dass für den Fall der Schweiz die Inlandeffekte der Wald- und Holzwirtschaft diejenigen im Ausland deutlich übersteigen.

Notwendige nationale
und globale Betrachtungsweise

Wald und Zivilisationskreislauf – Lagereffekte und Substitution

Die möglichst weitgehende Nutzung eines hohen Zuwachses, die Verarbeitung zu langlebigen Produkten in einer Kaskadennutzung und die energetische Endnutzung nach Gebrauch führen auf Dauer zur deutlichsten Verbesserung der CO₂-Bilanz.

Nutzung des Zuwachses
und Kaskadennutzung

Verbesserungen der CO₂-Bilanz mittels C-Lagerbildung sind zeitlich limitiert. Jedes Lager erreicht über kurz oder lang seine Kapazitätsgrenzen. Zwar lassen sich im Wald trotz hohen Vorräten immer noch erhebliche Vorratssteigerungen erreichen. Ob noch vorratsreichere Waldungen allerdings auch stabil sind, ist fraglich und war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Auf den wichtigsten Risikofaktor – den Sturm – hat der Mensch keinen Einfluss. Er kann nur für möglichst hohe Stabilität der Wälder sorgen. Sturmereignisse, wie sie in den Jahren 1990 und 1999 auftraten, zerstören nicht nur materielle Werte in grossem Umfange. Sie verändern auch die CO₂-Bilanz mit einem Schlage drastisch. Die Klimaänderung beeinflusst auch die Waldentwicklung (Wachstum, Baumartenverteilung, Störungen). Das wurde in dieser Studie nur beschränkt berücksichtigt, sollte aber in zukünftigen Studien vertiefter untersucht werden.

Unsichere Vorratserhöhung
im Wald

Die Lager im Zivilisationskreislauf sind zwar weniger bedeutend, sie sind aber durch Katastrophen wie z. B. Feuerereignisse nicht im selben Ausmasse gefährdet wie jene im Wald. Wird ein bestimmter Verbrauch an Holzprodukten aufrechterhalten, verändern sich die Lager mit der Zeit nicht mehr wesentlich.

Stabile Holzlager
im Zivilisationskreislauf

Solange der Verbrauch an Holzprodukten anhält, ist der Substitutionseffekt durch materielle und energetische Nutzung von Holz im Vergleich zu den Lagereffekten bedeutend und anhaltender. Da niemand ein Holzlager im Zivilisationskreislauf allein zur CO₂-Bindung anlegen würde, ist der Lagereffekt hier eine willkommene Nebenerscheinung.

Wichtiger Substitutionseffekt

Vorrats-, Zuwachs- und Nutzungspolitik

Ergebnisse der Modellierung führen zu einem nachhaltig nutzbaren Zuwachs von 9.2⁶² Mio. m³/Jahr (Szenario *Zuwachs optimiert*). Erst nach rund 70 Jahren wird allerdings der Zustand erreicht, bei dem wirklich ein konstanter Zuwachs dieser Grösse genutzt werden kann. Dieser Zuwachs wird bei einem leicht höheren Vorrat als dem heutigen erreicht. Das bedeutet, dass aus Sicht eines möglichst hohen Zuwachses eine Reduktion des Holzvorrates im Wald nicht opportun erscheint. Aus rohstoffpolitischen Gründen ist die Erzielung eines möglichst hohen Massenzuwachses sinnvoll und erstrebenswert. Dabei soll aber auch berücksichtigt werden, dass der Wald eine hohe Stabilität aufweist. Die Feststellung des Optimums muss in Fachkreisen vertieft diskutiert werden.

Hoher Zuwachs bei stabilen Wäldern möglich?

Die Nachfragesituation und die steigenden Holzpreise zu Ende des Jahres 2006, anfangs 2007, haben deutlich aufgezeigt, dass der Aufbau von Kyoto-Wäldern keine Selbstverständlichkeit ist. Die lange Jahre beobachtete Unternutzung der Schweizer Wälder kann ausserordentlich rasch umschlagen bzw. in eine Übernutzung kippen.

Hohe Holznachfrage

Liegenbleibender Schlagabraum, der energetisch genutzt werden könnte, bedeutet ein Potenzial, das nicht genutzt wird. Steigende Holzpreise bieten Anreiz dies vermehrt zu tun. Zur besseren Ausnutzung der Biomasse sind geeignete Techniken teilweise noch zu entwickeln. Die vollständige Nutzung der Biomasse steht jedoch in einem gewissen Gegensatz zu Anforderungen der Biodiversität, welche eine ausreichende Menge an Totholz verlangt. Zudem ist die Nachhaltigkeit der Bodengüte und Wuchsleistung zu gewährleisten. Hier besteht weiterer Informationsbedarf.

Holzschläge möglichst vollständig räumen?

Holzverwendungspolitik

Im Sinne der Klimapolitik weist eine möglichst hohe Verwendungsquote von Holz im Bausektor und hier in den Verwendungen mit den vorteilhaftesten Treibhausgasbilanzen die höchste Wirkung auf. Es sind dies vor allem Konstruktionsteile, z. B. Geschossdecken, Stützen, Bodenbeläge und Fassaden, aber auch Ausbauteile wie Möbel, Zargen oder Verpackungen.

Holz im Bausektor einsetzen

Aus globaler Sicht ist heute die Wirkung der Materialsubstitution grösser als die Wirkung der thermischen Nutzung von Holz. Aus Schweizer Sicht führt aber die thermische Nutzung von Holz zu einem grösseren Substitutionseffekt als die Materialsubstitution.

Stoffliche vor energetischer Nutzung

Die Kaskadennutzung von Holz ermöglicht es, beide Substitutionseffekte zu realisieren. Dies unterstreicht die Wichtigkeit dieses Konzeptes. Aus Schweizer Sicht gilt daher klar das Primat der stofflichen vor der energetischen Nutzung (vgl. nachfolgende Tab. 15).

⁶² 8 Mio. Derbholz, 1.2 Mio. Rinde und Reisig.

Die Substitutionseffekte sind in der Schweiz dort am grössten, wo im Inland hergestellte, energieintensive Produkte aus anderen Materialien durch inländische Holzprodukte ersetzt werden. Dies betrifft vor allem Konstruktionsteile für Bauten, insbesondere Geschossdecken, Aussenwände und Fassaden; aber auch Verpackungen. Die Substitutionseffekte bei Elementen des Ausbaus fallen dagegen in wesentlich höherem Umfang im Ausland an, werden diese Substitutionsprodukte oder ihre Halbfabrikate doch vorwiegend im Ausland hergestellt.

**Konstruktionsholz
vor Ausbauholz**

Aus der Betrachtung des Papierrecyclings ist bekannt, dass der notwendige Anteil an «Frischholz» durch Recycling deutlich reduziert werden kann. Im Bereich der stofflichen Nutzung ist die Wiederverwendung von Altholz bisher ausser bei den Spanplatten eine Ausnahme geblieben, in kleineren Mengen allenfalls noch bei Holzbauten (Wiederverwendung z. B. von alten Ställen für neue Ferienhäuser im Berggebiet). Da die (chemische) Belastung des Altholzes bis heute nicht mit einfachen Methoden bestimmt werden kann – und die Dissipation (=Verteilung) von Schadstoffen aus Umweltüberlegungen nicht zu befürworten ist – liegt wohl beim Altholz die Priorität bei der energetischen Verwendung. Die effiziente energetische Verwendung von Restholz aus der Produktion und von Altholz erweist sich aufgrund der hohen Substitutionseffekte als eine der Schlüsselstrategien zur Minderung inländischer Treibhausgasemissionen.

Altholz energetisch nutzen

Holzverarbeitungspolitik

Mit der vermehrten Holzverwertung und -verwendung in der Schweiz geht eine Stärkung der Wald- und Holzwirtschaft einher. Daraus resultieren in diesen Branchen Gewinne von insgesamt rund 27'000 Arbeitsplätzen und 2 Mia. Schweizerfranken Wertschöpfung. Wie viele Arbeitsplätze im In- und Ausland in anderen Branchen verschwinden, kann hier nicht beurteilt werden.

**Neue Arbeitsplätze und
grössere Wertschöpfung**

Es ist nicht nur aus Gründen der Wertschöpfung sinnvoll, die Verarbeitung des Holzes aus dem Schweizer Wald im eigenen Lande auszuführen. Die Ablösung von bisher importierten Holzprodukten durch solche aus einheimischer Produktion erhöht die positive globale Klimawirkung. Dabei fällt zusätzlich ins Gewicht, dass bei der Verarbeitung anfallendes Restholz im Inland energetisch genutzt werden kann und Transporte wegfallen.

**Schweizer Holz
in der Schweiz verarbeiten**

Aussenhandelspolitik

Die Ergebnisse des *Autarkie*-Szenarios lassen zunächst vermuten, die Abschottung des Schweizer Marktes sei eine zielführende Strategie. Tatsächlich wird aber in diesem Szenario der Anteil des einheimischen Holzes, welches stofflich und hier vor allem im Bau verwendet wird, um die bisherige Importrate erhöht. Über das anfallende Restholz wird der Anteil Energie trotzdem hoch gehalten; es entfallen zudem viele Transporte.

**Autarkie nur scheinbar
eine gute Lösung**

Da der Markt für Holzbauprodukte in der Schweiz beschränkt ist, kann nur durch gesteigerten Export ein höherer Anteil der Holzproduktion in den Bau gebracht werden. Da ein geänderter Aussenhandel unweigerlich zu einer Veränderung der ausländi-

schen Holznutzung führt, müssten für verlässliche Aussagen zu diesen Auswirkungen umfangreiche Untersuchungen zum Thema ausländischer Wald durchgeführt werden.

Faustregel zur Bestimmung der CO₂-Einsparung

Folgende Kennzahlen (vgl. Tab. 15) geben die Grössenordnungen der Substitutionswirkung pro eingesetzte Holzmenge an:

Tab. 15 > Gerundete Kennzahlen der eingesparten CO₂-Emissionen pro eingesetzte Holzmenge

Eingesparte CO ₂ -Emissionen pro eingesetzte Menge Holz [kg CO ₂ /m ³ Holz]	Schweiz	Ausland	Total
Material-Substitution	-300	-400	-700
Energetische Substitution	-500	-100	-600
Total	-800	-500	-1'300

8 > FAQs

Auf die folgenden einfachen Fragestellungen können aufgrund der vorliegenden Studie nun einfache und klare Antworten gegeben werden.

Spielt es überhaupt eine Rolle wie man den Wald bewirtschaftet und das Holz verwendet?

Ja Der Vergleich der Szenario-Resultate zeigt deutlich, dass unterschiedliche Strategien zu sehr unterschiedlichen Effekten führen. Dabei können die kurzfristigen Auswirkungen sehr stark von den langfristigen Effekten abweichen.

Soll in der Schweiz möglichst viel CO₂ in den Wäldern eingelagert werden?

Nein Das Szenario *Reduzierte Waldpflege* zeigt, dass wohl zu Beginn grosse CO₂-Mengen eingelagert werden können. Mittel- bis langfristig kehrt sich die Wirkung aber um, da der Kohlenstoffspeicher im Wald gefüllt ist und allmählich der Abbau beginnt. Zusätzlich weist dieses Szenario die grössten Risiken für die Waldstabilität auf. Für die Anrechnung ans Kyoto-Protokoll nützt die hohe Senkenwirkung dieses Szenarios im Übrigen nur wenig, da die anrechenbare Speichermenge für die Schweiz (Cap) in der ersten Verpflichtungsperiode bei 1.8 Mio. t CO₂ pro Jahr liegt. Zusätzlich steht in diesem Szenario weniger einheimisches Bau- und Energieholz zur Verfügung. Bei gleich bleibendem Verbrauch müssten die fehlenden Holzmengen durch Nicht-Holz-Produkte resp. fossile Energieträger ersetzt werden. Das würde die CO₂-Bilanz dieses Szenarios noch weiter verschlechtern.

Soll in der Schweiz möglichst viel Holz direkt energetisch genutzt werden?

Nein Das Szenario *Zuwachs optimiert, Energie* schneidet im Vergleich zu den Bau-Szenarien durchwegs deutlich schlechter ab. Der stoffliche Einsatz von Holz und die anschliessende energetische Verwendung stellt eindeutig die bessere Option dar als die rein energetische Nutzung. Um die gleiche Menge Bauprodukte bereitzustellen, müssten beim Energie-Szenario ausserdem noch zusätzliche Nicht-Holz-Produkte hergestellt werden, was zu weiteren CO₂-Emissionen führen würde.

Soll die Schweizer Wald- und Holzwirtschaft so weiter fahren wie bisher?

Nein Das Szenario *Baseline* schneidet kurz- und mittelfristig am schlechtesten und langfristig am zweitschlechtesten ab. Eine Steigerung bei der Holzverwendung ist in jedem Fall anzustreben.

Soll die Schweiz die anrechenbaren Kyoto-Waldsenken nutzen?

Ja Das Szenario *Kyoto optimiert* schneidet mittel und langfristig gesehen gut ab. Allerdings dürfte der Waldaufbau gegenüber der Strategie «Zuwachs optimiert» aufgrund reduzierter Durchforstungstätigkeit über längere Frist an Stabilität verlieren. Aufgrund der anzunehmenden grossen zukünftigen Holznachfrage entstehen die Kyoto-Waldsenken jedoch nicht «von selber». Es braucht dazu geeignete wirtschaftliche Rahmenbedingungen.

Kommen in der Schweiz ergriffene Massnahmen auch der Schweiz zugute?

Ja Der Vergleich der Effekte im In- und Ausland zeigt, dass bei konstantem Aussenhandel die CO₂-Einsparungen in der Schweiz deutlich überwiegen⁶³.

⁶³ In der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls kann allerdings die Senkenwirkung aus der Zunahme der Holzlager im Zivilisationskreislauf noch nicht angerechnet werden. Gegenwärtig wird auf internationaler Ebene die Möglichkeit der Anrechnung von Holzprodukten für weitere Verpflichtungsperioden diskutiert.

> Anhang

A1 Datengrundlagen

Darrgewichte von Holz	Gewicht kg/m ³	Vorrat in %
Fichte	430	48
Tanne	410	15
übrige Nadelhölzer	460	9
Buche	680	17
übrige Laubhölzer	580	11
Vereinfachte Annahme:	500 kg/m ³	Durchschnittsgewicht von Schweizer Holz

Quelle: Schweizer 2006

Holz besteht aus den folgenden Bestandteilen (Gewicht)

Kohlenstoff (C)	50%
Sauerstoff (O ₂)	43%
Wasserstoff	6%
Stickstoff	<1%
Mineralstoffe	<1%

Quelle: Pöhler Rotach, Seubert Hunziker 2002

Umrechnungsfaktor von C zu CO₂

Atomgewicht C	12.0
Atomgewicht O	16.0
Atomgewicht O ₂	32.0
Total CO ₂	44.0

Bei der Photosynthese werden aus 3.67 kg CO₂ 1 kg C produziert.
 Bei Verbrennung entstehen aus 1.00 kg C = 3.67 kg CO₂
 1 kg C = 3.67 kg CO₂ oder 1 t C = 3.67 t CO₂

CO₂-Reduktion in der Atmosphäre bei der Produktion von 1 m³ Holz

1 m³ Holz wiegt 500 kg
 davon sind 50% C
 1 m³ Holz enthält also 250 kg C
 Diese 250 kg C wurden produziert aus 250 kg x 3.67 = 917 kg CO₂
 Gerundet: Die Produktion von 1 m³ Holz entzieht der Atmosphäre 920 kg CO₂
 Umgekehrt: Bei der Verbrennung von 1 m³ Holz werden 920 kg CO₂ an die Atmosphäre abgegeben
 Es gilt auch: Beim biologischen Abbau von 1 m³ Holz werden 920 kg CO₂ an die Atmosphäre abgegeben
 Die produktive Waldfläche wurde mit 1.07 Mio. ha angenommen.

Quelle: Anwendung der oben aufgeführten Daten

A2 Elemente des Holzwirtschafts-Modells

Insgesamt enthält das Holzwirtschaftsmodell 9 Prozesse und 26 (+6) Flüsse. Sie sind über mathematische Gleichungen miteinander vernetzt. Prozesse und Flüsse werden in der nachfolgenden Tabelle 16 beschreiben.

Tab. 16 > Prozesse und Flüsse des Holzflussmodells

Prozesse/Lager		
1	Holzwirtschaft	Beinhaltet die Umwandlung von Waldholz in die verschiedenen Holzprodukte und in Restholz, welches thermisch genutzt wird. Aus modelltechnischen Gründen musste die Aufenthaltsdauer des Holzes in diesem Lager mit 0 Jahren definiert werden. Für die Lagerabschätzung wurde der doppelte jährliche Holzfluss angenommen.
2	Energieerzeugung	Wird aus verschiedenen Quellen gespeist, nämlich aus Waldenergieholz, Restholz, Lignin (Ablauge), Brennaltpapier und Brennholz. In diesem Feld erfolgt die Umwandlung von Holz in Energie, von C in Holz in CO ₂ im Abgas. Die mittlere Aufenthaltsdauer wurde mit 2.0 Jahren \pm 0.5 Jahren angenommen.
3	Gebäudekonstruktion	In diesem Lager finden alle Konstruktionsteile aus Holz Platz, welche über lange Zeit im Gebäude bleiben. Es handelt sich um alle tragenden Bauteile mit einer Verweildauer von geschätzten 80 \pm 20 Jahren.
4	Gebäudeausbau	Unter Gebäudeausbau fallen alle Bauteile, welche eine kürzere Aufenthaltsdauer aufweisen. Hier sind auch die Möbel subsumiert. Die mittlere Aufenthaltsdauer wurde mit 30 Jahren \pm 15 Jahren angenommen.
5	Holzprodukte	Ein Lager mit sehr unterschiedlichen Holzprodukten wie Bauhilfsstoffe, Do-it-yourself-Artikel, Holzwaren und Verpackungen. Als Aufenthaltsdauer wurden 10 Jahre \pm 3 Jahre angenommen.
6	Produktion Holz-/ Zellstoff	Um den Aussenhandel mit Holz-/Zellstoff und die energetische Verwendung von Lignin korrekt abbilden zu können, muss dafür ein separater Prozess eingeführt werden. Man geht hier von einer Verweildauer von 0 Jahren aus.
7	Papierherstellung	Ebenfalls als Durchlaufprozess konzipiert, um das Papierrecycling abbilden zu können. Die Aufenthaltsdauer wurde mit 0 Jahren angenommen.
8	Papierkonsum	Beim Papierkonsum wurde die sehr unterschiedliche Verweildauer des Papiers von wenigen Tagen bis zu vielen Jahren durch eine angenommene mittlere Verweildauer von 2.5 Jahren \pm 2 Jahren abgebildet. Vom Feld Papierkonsum geht eine Recyclingschleife zurück zur Papierproduktion, ein Teil wird zu Brennaltpapier, ein Teil verlässt als Abfallpapier das System.
9	Altholzwirtschaft	Die Altholzwirtschaft übernimmt alle Holz mengen, welche aus der Verwendung von Gebäuden und Holzprodukten ausscheiden. Die Altholzwirtschaft – hier bleibt das Holz im Durchschnitt nur 1 Jahr \pm 0.2 Jahre – liefert Brennholz und Abfallholz. Letzteres verlässt das System ebenfalls.
Input-Flüsse		
1a	Import Rund-/Restholz	Menge des importierten Rund- und Restholzes. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1b	Import Halbfabrikate	Importierte Menge an Halbfabrikaten. Unter Halbfabrikate werden hier Schnittwaren und Holzwerkstoffe bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1c	Import ¾-Fabrikate	Importierte Menge an ¾-Fabrikaten. Beispiele von ¾-Fabrikaten sind Türen, Fenster, Brettschichtholz etc. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1d	Import Möbel/Häuser	Importierte Menge an Fertighäusern und Möbeln. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
2	Waldnutzholz	Waldnutzholz ist eine der Inputgrössen ins System. Es umfasst alles Stamm- und Industrieholz aus der Schweiz, welches ins System eingespeist wird. Beim Waldnutzholz handelt es sich um eine abgeleitete Variable, da der Systembedarf im Modell die benötigte Gesamtmenge bestimmt.
3	Waldenergieholz	Waldenergieholz ist die zweite Inputgrösse ins System und umfasst alles Energie- oder Brennholz, welches aus dem Schweizer Wald ins System eingespeist wird. Eingeschlossen ist auch Holz aus Flurgehölzen. Es handelt sich um eine vorgegebene Variable.
4	Import Holz-/Zellstoff	Importierte Menge an Holz- und Zellstoff in die Papierherstellung. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
5	Import Papier	Menge importiertes Papier für den inländischen Verbrauch. Die Summe des inländischen Verbrauches und der Importanteil werden vorgegeben.

Output-Flüsse

1a	Export Rund-/Restholz	Menge des exportierten Rund- und Restholzes. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1b	Export Halbfabrikate	Exportierte Menge an Halbfabrikaten. Unter Halbfabrikate werden hier Schnittwaren und Holzwerkstoffe bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1c	Export ¾-Fabrikate	Exportierte Menge an ¾-Fabrikaten. Beispiele von ¾-Fabrikaten sind Türen, Fenster, Brettschichtholz etc. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
1d	Export Möbel/Häuser	Exportierte Menge an Fertighäusern und Möbeln. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
2	Export Holz-/Zellstoff	Exportierte Menge an Holz- und Zellstoff aus der Produktion. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
3	Rest-Lignin	Bezeichnet die Gütermenge an Lignin (und Hemizellulose), welche pro Jahr beim Holzaufschluss anfällt und nicht zur Energieerzeugung verwendet wird. Dabei handelt es sich um ein fix vorgegebenes Verhältnis.
4	Export Papier	Exportierte Menge an Papier aus der Papierherstellung. Dabei handelt es sich um eine vorgegebene Variable.
5	Abfallpapier	Die Menge an Papier, welche das System durch das Abwasser oder auf dem Kompost verlässt. Berechnet sich als Prozentanteil des Papierkonsums. In Form von Klärschlamm allenfalls auch energetisch genutzt.
6	Abfallholz	Menge an Altholz, welche das System durch Exporte verlässt oder (illegal) deponiert wird. Ist eine Residualvariable (Altholzoutput minus Brennaltholz).
7	Abgas	Menge an «Holz» welche das System nach der Energieerzeugung gasförmig verlässt.

Innere-Flüsse

1	Neukonstruktionsholz	Die Gütermenge Holz, welche pro Jahr aus dem System Holzwirtschaft in Form langlebiger und vorwiegend tragender Elemente in die Gebäudekonstruktion eingebracht wird. Es handelt sich um eine vorgegebene Variable.
2	Neuausbauholz	Die Gütermenge Holz, welche pro Jahr aus dem System Holzwirtschaft in Form dauerhafter, vorwiegend nichttragender Elemente in die Gebäude eingebracht wird. Zu diesem Güterfluss gehören auch die Möbel. Es handelt sich um eine vorgegebene Variable.
3	Neuholzprodukte	Die Gütermenge Holz, welche pro Jahr aus der Holzwirtschaft in den Konsum relativ kurzlebiger Holzprodukte eingebracht wird. Es handelt sich um eine vorgegebene Variable.
4	Restholz	Die Menge Holz, welche aus der Holzwirtschaft in die Energieerzeugung geliefert wird. Die Restholzmenge ist eine abgeleitete Variable. Sie berechnet sich in Prozent der Summe der Lieferungen an Gebäudekonstruktion, Gebäudeausbau und Holzprodukte.
5	Papierholz	Die Menge Holz, welche als Rundholz aus dem Wald oder als Industrierestholz aus der Holzwirtschaft an die Papierwirtschaft geliefert wird. Es wird vereinfachend angenommen, dass auch das Waldholz für Holzschliff und Zellulose über die Holzwirtschaft geliefert wird. Es handelt sich um eine abgeleitete Variable.
6	Energie-Lignin	Bezeichnet die Gütermenge an Lignin (und Hemizellulose), welche pro Jahr beim Holzaufschluss anfällt und zur Energieerzeugung verwendet wird. Dabei handelt es sich um ein fix vorgegebenes Verhältnis.
7	Holz-/Zellstoff	Im Inland produzierte Holz-/Zellstoff-Menge für den inländischen Verbrauch.
8	Inland Papier	Menge im Inland produziertes Papier für den inländischen Verbrauch. Die Summe des inländischen Verbrauches und der Importanteil werden vorgegeben.
9	Recyclingpapier	Die Menge an Altpapier, welche pro Jahr gesammelt und erneut als Faser für die Papierproduktion eingesetzt wird. Sie berechnet sich als Prozentanteil des Papierkonsums.
10	Brennaltpapier	Menge an Papier, welche in Feuerungen oder in der KVA verbrannt und (mindestens teilweise) energetisch genutzt wird. Ist eine Residualgrösse aus: Papier (aus dem Konsum ausscheidend) – Recyclingpapier – Abfallpapier.
11	Alt konstruktionsholz	Die Menge Holz, welche als Gebäudekonstruktion aus dem Baubestand ausscheidet. Sie entspricht mit der Verzögerung der definierten Verweildauer etwa dem Input in die Gebäudekonstruktion.
12	Altausbauholz	Die Menge Holz, welche als Ausbauholz aus dem Gebäudebestand ausscheidet. Sie entspricht mit der Verzögerung der definierten Verweildauer etwa dem Input in den Gebäudeausbau.
13	Altholzprodukte	Die Menge an Holzprodukten, welche aus der Nutzung ausscheiden. Sie entspricht mit der Verzögerung der definierten Verweildauer etwa dem Input in den Konsumbereich Gebäude und Holzprodukte.
14	Brennaltholz	Menge an Altholz, welche in Altholzfeuerungen und in KVA verbrannt und (mindestens teilweise) energetisch genutzt wird. Berechnet sich als Prozentanteil der die Altholzwirtschaft verlassenden Menge.

Definierte Parameter

Neukonstruktionsholz	Menge des jährlich neu eingebauten Gebäudekonstruktionsholzes
Neuausbauholz	Menge des jährlich neu eingebauten Gebäudeausbauholzes
Neuholzprodukte	Menge der jährlich verbrauchten Neuholzprodukte
Feldgehölze	Menge mit 180'000 m ³ festgelegt
Andere Holzbrennstoffe	Menge mit 60'000 m ³ festgelegt
Zellstoff/Holzstoff	Produktionsverhältnis Zellstoff/Holzstoff: 1.1
Papier(verbrauch)	Menge des jährlichen Inland-Papierverbrauches
Waldenergieholz	Menge des jährlich verbrauchten Waldenergieholzes
Restholzanteil	Prozentsatz der Summe Neukonstruktionsholz + Neuausbauholz + Neuholzprodukte, errechnet mit 40 %
Import Restholzanteil	Festgelegt für Rundholz: 29 %, für Halbfabrikate: 17 %, für ¾-Fabrikate: 9 %
Export Restholzanteil	Festgelegt für Rundholz: 0 %, für Halbfabrikate: 20 %, für ¾-Fabrikate: 30 %
Ausbeute Zellstoff	Faktor Rohholz zu Zellstoff: 4.5
Ausbeute Holzstoff	Faktor Rohholz zu Holzstoff: 2.8
Verhältnis Energie-/Restlignin	Faktor Energielignin zu Restlignin aus Zellstoffproduktion: 0.8 Faktor Energielignin zu Restlignin aus Holzstoffproduktion: 1.0
Anteil Recyclingpapier	Prozentsatz des jährlichen Papierverbrauches, festgelegt mit 63 %
Ausschuss Altpapier	Festgelegt mit 13 %
Zuschlagstoffe Paper	Festgelegt mit 13 %
Anteil Abfallpapier	Prozentsatz des jährlichen Papierverbrauches, errechnet mit 9 %
Anteil Brennholz	Prozentsatz des Altholzoutputs aus Altholzwirtschaft, errechnet mit 60 %

A3 Szenarien Details

Tab. 17 > Details Szenarien *Zuwachs optimiert*

	Zuwachs optimiert																				
	Situation 2000 (ohne Lothareffekte)			Zuwachs optimiert, Bau			Veränderung gegenüber Situation 2000			Zuwachs optimiert, Energie			Veränderung gegenüber Situation 2000			Zuwachs optimiert, Autarkie			Veränderung gegenüber Situation 2000		
	Für den Aussenhandel sind die Mittelwerte 1996-99 eingesetzt (Jahrbuch Wald und Holz) Die Verbrauchszahlen entsprechen dem End- verbrauch im Jahr 2001 (Branchenprofil)			Verbrauch (K+A+H) Waldenergieholz Aussenhandel			+80% +122% 0%			Verbrauch (K+A+H) Waldenergieholz Aussenhandel			0% +344% 0%			Verbrauch (K+A+H) Waldenergieholz Aussenhandel			+80% +61% -100%		
Verbrauchszahlen Schweiz	kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a					
Konstruktion	868	1000 m³	62	1 894	1000 m³	135	868	1000 m³	62	1 894	1000 m³	135	868	1000 m³	62	1 894	1000 m³	135			
Ausbau	868	1000 m³	62	1 400	1000 m³	100	868	1000 m³	62	1 400	1000 m³	100	868	1000 m³	62	1 400	1000 m³	100			
Holzprodukte	756	1000 m³	54	1 190	1000 m³	85	756	1000 m³	54	1 190	1000 m³	85	756	1000 m³	54	1 190	1000 m³	85			
Papier und Karton			245			245			245			245			245			245			
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	1 260	1000 m³	90	2 800	1000 m³	200	5 600	1000 m³	400	2 030	1000 m³	145									
			513			765			823			710									
Export	kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a								
Export Rundholz, Restholz	1 390	1000 m³	99.3	1 390	1000 m³	99.3	1 390	1000 m³	99.3	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	670	1000 m³	47.9	670	1000 m³	47.9	670	1000 m³	47.9	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3	-	1000 t	-	-	1000 t	-	-	1000 t	-			
Export Möbel / Häuser	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4	-	1000 t	-	-	1000 t	-	-	1000 t	-			
Export Zellstoff	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7			
Export Holzschliff	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9			
Export Papier und Karton	1 110	1000 t	158.6	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1			
Summe Export (K+A+H)+RH	1 376	1000 m³	58.6	1 376	1000 m³	58.6	1 376	1000 m³	58.6	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Restholzanfall aus Export (K+A+H)			13.4			13.4			13.4												
Import	kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a								
Import Rundholz, Restholz	890	1000 m³	63.6	890	1000 m³	63.6	890	1000 m³	63.6	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Import Restholz	534	1000 m³	38.1	534	1000 m³	38.1	534	1000 m³	38.1	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Import Rundholz	356	1000 m³	25.4	356	1000 m³	25.4	356	1000 m³	25.4	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	1 070	1000 m³	76.4	1 070	1000 m³	76.4	1 070	1000 m³	76.4	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9	-	1000 t	-	-	1000 t	-	-	1000 t	-			
Import Möbel, Häuser	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0	-	1000 t	-	-	1000 t	-	-	1000 t	-			
Import Zellstoff	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9			
Import Holzschliff	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7			
Import Papier und Karton	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1			
Summe Import (K+A+H)+RH	2 166	1000 m³	154.7	2 166	1000 m³	154.7	2 166	1000 m³	154.7	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-	-	1000 m³	-			
Als Produkt (K+A+H) in CH verwertbar			132.6			132.6			132.6												
Restholzanfall in CH aus Import (K+A+H)			22.1			22.1			22.1												

Holzverbrauch aus CH-Wald	kg/E*a	1000 m³
Produktion (K+A+H)	104	1 455
Restholzanfall	32	442
Produktion Holz-, Zellstoff	32	445
Waldenergieholz	90	1 260
Export Rund- und Restholz	99	1 390
Total	357	4 992

	kg/E*a	1000 m³
	246	3 447
	88	1 239
	24	341
	200	2 800
	99	1 390
Total	658	9 217

	kg/E*a	1000 m³
	104	1 455
	32	442
	24	341
	400	5 600
	99	1 390
Total	659	9 228

	kg/E*a	1000 m³
	320	4 484
	128	1 794
	62	875
	145	2 030
	0	-
Total	656	9 183

Tab. 18 > Details Szenarien *Kyoto optimiert*

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte)		Kyoto optimiert								
			Kyoto optimiert, Bau		Veränderung gegenüber Situation 2000		Kyoto optimiert, Energie		Veränderung gegenüber Situation 2000		
Für den Aussenhandel sind die Mittelwerte 1996-99 eingesetzt (Jahrbuch Wald und Holz). Die Verbrauchszahlen entsprechen dem Endverbrauch im Jahr 2001 (Branchenprofil)			Verbrauch (K+A+H)		+80%		Verbrauch (K+A+H)		+0%		
			Waldenergieholz		+67%		Waldenergieholz		+289%		
			Aussenhandel		0%		Aussenhandel		0%		
Verbrauchszahlen Schweiz			kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		
Konstruktion	868	1000 m ³	62	1 894	1000 m ³	135	868	1000 m ³	62		
Ausbau	868	1000 m ³	62	1 400	1000 m ³	100	868	1000 m ³	62		
Holzprodukte	756	1000 m ³	54	1 190	1000 m ³	85	756	1000 m ³	54		
Papier und Karton			245			245			245		
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	1 260	1000 m ³	90	2 100	1000 m ³	150	4 900	1000 m ³	350		
			513			715			773		
Export			kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		
Export Rundholz, Restholz	1 390	1000 m ³	99.3	1 390	1000 m ³	99.3	1 390	1000 m ³	99.3		
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	670	1000 m ³	47.9	670	1000 m ³	47.9	670	1000 m ³	47.9		
Export 3/4: Verpackung, Baumat, Holzwaren	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3		
Export Möbel / Häuser	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4		
Export Zellstoff	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7		
Export Holzschliff	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9		
Export Papier und Karton	1 110	1000 t	158.6	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1		
Summe Export (K+A+H)+RH	1 376	1000 m ³	58.6	1 376	1000 m ³	58.6	1 376	1000 m ³	58.6		
Restholzanfall aus Export (K+A+H)			13.4			13.4			13.4		
Import			kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		kg/E*a		
Import Rundholz, Restholz	890	1000 m ³	63.6	890	1000 m ³	63.6	890	1000 m ³	63.6		
Import Restholz	534	1000 m ³	38.1	534	1000 m ³	38.1	534	1000 m ³	38.1		
Import Rundholz	356	1000 m ³	25.4	356	1000 m ³	25.4	356	1000 m ³	25.4		
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	1 070	1000 m ³	76.4	1 070	1000 m ³	76.4	1 070	1000 m ³	76.4		
Import 3/4: Verpackung, Baumat, Holzwaren	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9		
Import Möbel, Häuser	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0		
Import Zellstoff	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9		
Import Holzschliff	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7		
Import Papier und Karton	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1		
Summe Import (K+A+H)+RH	2 166	1000 m ³	154.7	2 166	1000 m ³	154.7	2 166	1000 m ³	154.7		
Als Produkt (K+A+H) in CH verwertbar			132.6			132.6			132.6		
Restholzanfall in CH aus Import (K+A+H)			22.1			22.1			22.1		
Holzverbrauch aus CH-Wald		kg/E*a	1000 m ³		kg/E*a	1000 m ³		kg/E*a	1000 m ³		
Produktion (K+A+H)		104	1 455		246	3 447		104	1 455		
Restholzanfall		32	442		88	1 239		32	442		
Produktion Holz-, Zellstoff		32	445		24	341		24	341		
Waldenergieholz		90	1 260		150	2 100		350	4 900		
Export Rund- und Restholz		99	1 390		99	1 390		99	1 390		
Total		357	4 992		608	8 517		609	8 528		

Tab. 19 > Details Szenarien *Baseline* und *Reduzierte Waldpflege*

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte)			Baseline			Reduzierte Waldpflege		
				Trendgemäss weiter wie bisher		Veränderung gegenüber Situation 2000	Reduzierte Waldpflege, Energie		Veränderung gegenüber Situation 2000
	Für den Aussenhandel sind die Mittelwerte 1996-99 eingesetzt (Jahrbuch Wald und Holz). Die Verbrauchszahlen entsprechen dem Endverbrauch im Jahr 2001 (Branchenprofil)			Verbrauch (K+A+H)		21%	Verbrauch (K+A+H)		-24%
				Waldenergieholz		22%	Waldenergieholz		-81%
				Aussenhandel		0%	Aussenhandel		0%
Verbrauchszahlen Schweiz			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a
Konstruktion	868	1000 m³	62	1 050	1000 m³	75	650	1000 m³	46
Ausbau	868	1000 m³	62	1 050	1000 m³	75	634	1000 m³	45
Holzprodukte	756	1000 m³	54	910	1000 m³	65	616	1000 m³	44
Papier und Karton			245			245			245
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	1 260	1000 m³	90	1 540	1000 m³	110	238	1000 m³	17
			513			570			398
Export			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a
Export Rundholz, Restholz	1 390	1000 m³	99.3	1 390	1000 m³	99.3	1 390	1000 m³	99.3
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	670	1000 m³	47.9	670	1000 m³	47.9	670	1000 m³	47.9
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3	30	1000 t	4.3
Export Möbel / Häuser	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4	45	1000 t	6.4
Export Zellstoff	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7	110	1000 t	15.7
Export Holzschliff	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9	20	1000 t	2.9
Export Papier und Karton	1 110	1000 t	158.6	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1
Summe Export (K+A+H)+RH	1 376	1000 m³	58.6	1 376	1000 m³	58.6	1 376	1000 m³	58.6
Restholzanfall aus Export (K+A+H)			13.4			13.4			13.4
Import			kg/E*a			kg/E*a			kg/E*a
Import Rundholz, Restholz	890	1000 m³	63.6	890	1000 m³	63.6	890	1000 m³	63.6
Import Restholz	534	1000 m³	38.1	534	1000 m³	38.1	534	1000 m³	38.1
Import Rundholz	356	1000 m³	25.4	356	1000 m³	25.4	356	1000 m³	25.4
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	1 070	1000 m³	76.4	1 070	1000 m³	76.4	1 070	1000 m³	76.4
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9	160	1000 t	22.9
Import Möbel, Häuser	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0	210	1000 t	30.0
Import Zellstoff	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9	440	1000 t	62.9
Import Holzschliff	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7	5	1000 t	0.7
Import Papier und Karton	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1	1 100	1000 t	157.1
Summe Import (K+A+H)+RH	2 166	1000 m³	154.7	2 166	1000 m³	154.7	2 166	1000 m³	154.7
Als Produkt (K+A+H) in CH verwertbar			132.6			132.6			132.6
Restholzanfall in CH aus Import (K+A+H)			22.1			22.1			22.1
Holzverbrauch aus CH-Wald	kg/E*a	1000 m³		kg/E*a	1000 m³		kg/E*a	1000 m³	
Produktion (K+A+H)	104	1 455		141	1 973		62	863	
Restholzanfall	32	442		46	649		15	205	
Produktion Holz-, Zellstoff	32	445		24	341		24	341	
Waldenergieholz	90	1 260		110	1 540		17	238	
Export Rund- und Restholz	99	1 390		99	1 390		99	1 390	
Total	357	4 992		421	5 693		217	3 037	

Marktanteile und Verbrauchsmengen

Tab. 20 > Mengen und Veränderungen der Marktanteile bei den einzelnen Szenarien gegenüber dem Ist-Zustand

	Situation 2000		Baseline 2030		Zuwachs optimiert 2030			Kyoto optimiert 2030		Reduzierte Waldpflege 2030				
	1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³					
	Marktanteil	861	Marktanteil	1050	Marktanteil	1893	Marktanteil	861	Marktanteil	1893	Marktanteil	861	Marktanteil	649
Konstruktion														
Wände	8%	55	9%	80	25%	220	6%	55	25%	220	6%	55	5%	48
Stützen	39%	4.0	38%	5.0	45%	5.9	31%	4.0	45%	6	31%	4.0	26%	3.4
Geschossdecken	9%	137	10%	200	40%	770	7%	137	40%	770	7%	137	5%	100
Dämmung	11%	12	13%	17	20%	27	9%	12	20%	27	9%	12	6%	8
Dächer	74%	480	85%	570	84%	560	72%	480	84%	560	72%	480	54%	360
Tiefbau		136		130		220		136		220		136		115
Unterhalt		37		48		90		37		90		37		15
Ausbau														
Wand- und Deckenverkleidungen	15%	82	17%	100	25%	150	14%	82	25%	150	14%	82	11%	66
Treppen	15%	5.7	19%	8.0	25%	11	13%	5.7	25%	11	13%	5.7	10%	4.2
Bodenbeläge	23%	89	28%	120	35%	150	21%	89	35%	150	21%	89	16%	70
Fassaden	14%	45	15%	55	25%	93	12%	45	25%	93	12%	45	10%	38
Ausstattung	71%	163	85%	220	75%	195	63%	163	75%	195	63%	163	54%	139
Unterhalt		86		97		240		86		240		86		35
Möbel		400		450		560		400		560		400		282
Holzprodukte		757		910		1190		757		1190		757		616
Total Verbrauch (K+A+H)		2 490		3 010		4 481		2 490		4 481		2 490		1 900
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)		1 260		1 540		2 800		5 600		2 030		4 900		392

Gegenüber heute erfahren die Geschossdecken in Holz bei den **Bau-Szenarien** die grösste Zunahme (um den Faktor 4). Der Holzmarktanteil von Wänden wird verdreifacht. Der heute schon hohe Marktanteil des Holzes bei den Dächern wird nur noch geringfügig gesteigert.

Beim Szenario *Baseline* erfahren sämtliche untersuchten Bauteile eine leichte Marktanteilserhöhung des Holzes.

Die **Energie-Szenarien** weisen keine Marktanteilsveränderungen auf.

Das Szenario *Reduzierte Waldpflege* erfährt durchwegs eine Reduktion der Holzmarktanteile.

Tab. 21 > Anteil der einzelnen Bauteile innerhalb der Konstruktion und des Ausbaus

	Situation 2000		Baseline 2030		Zuwachs optimiert 2030			Kyoto optimiert 2030		Reduzierte Waldpflege 2030				
	1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³		1000 m ³					
	Anteil der Konstruktion	861	Anteil der Konstruktion	1050	Anteil der Konstruktion	1'893	Anteil der Konstruktion	861	Anteil der Konstruktion	1'893	Anteil der Konstruktion	861	Anteil der Konstruktion	649
Konstruktion														
Wände	6%	55	8%	80	12%	220	6%	55	12%	220	6%	55	7%	48
Stützen	0%	4.0	0%	5.0	0%	5.9	0%	4.0	0%	6	0%	4.0	1%	3.4
Geschossdecken	16%	137	19%	200	41%	770	16%	137	41%	770	16%	137	15%	100
Dämmung	1%	12	2%	17	1%	27	1%	12	1%	27	1%	12	1%	8
Dächer	56%	480	54%	570	30%	560	56%	480	30%	560	56%	480	55%	360
Tiefbau	16%	136	12%	130	12%	220	16%	136	12%	220	16%	136	18%	115
Unterhalt	4%	37	5%	48	5%	90	4%	37	5%	90	4%	37	2%	15
Ausbau														
Wand- und Deckenverkleidungen	9%	82	10%	100	11%	150	9%	82	11%	150	9%	82	10%	66
Treppen	1%	5.7	1%	8.0	1%	11	1%	5.7	1%	11	1%	5.7	1%	4.2
Bodenbeläge	10%	89	11%	120	11%	150	10%	89	11%	150	10%	89	11%	70
Fassaden	5%	45	5%	55	7%	93	5%	45	7%	93	5%	45	6%	38
Ausstattung	19%	163	21%	220	14%	195	19%	163	14%	195	19%	163	22%	139
Unterhalt	10%	86	9%	97	17%	240	10%	86	17%	240	10%	86	6%	35
Möbel	46%	400	43%	450	40%	560	46%	400	40%	560	46%	400	44%	282
Holzprodukte		757		910		1190		757		1190		757		616
Total Verbrauch (K+A+H)		2'490		3'010		4'481		2'490		4'481		2'490		1'900
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)		1'260		1'540		2'800		5'600		2'030		4'900		392

Heute beträgt der Anteil der Dächer über 50 % bei der konstruktiven Holzanwendung. Bei den Bau-Szenarien steigert sich der Anteil Geschossdecken auf zukünftige 40 %, und geht entsprechend bei den Dächern auf 30 % zurück. Beim Ausbau behalten die Möbel bei allen Szenarien den grössten Anteil der Holzanwendung.

Aussenhandel pro Bauteil

Tab. 22 > Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien *Zuwachs optimiert*

	Situation 2000			Zuwachs optimiert 2030									
	1000 m³	1000 m³	1000 m³	Bau			Energie			Autarkie			
	Produktion	Import	Export	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³
Konstruktion	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	
Wände	39	48	32	204	48	32	39	48	32	220	-	-	
Stützen	3.0	3.4	2.4	4.9	3.4	2.4	3.0	3.4	2.4	5.9	-	-	
Geschossdecken	122	100	85	755	100	85	122	100	85	770	-	-	
Dämmung	12	8	8	27	8	8	12	8	8	27	-	-	
Dächer	397	375	255	530	375	255	397	375	255	650	-	-	
Tiefbau (Zäune)	104	115	83	188	115	83	104	115	83	220	-	-	
Total Konstruktion	678	649	465	1'709	649	465	678	649	465	1'893	-	-	
Ausbau	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	
Wand- und Deckenverkleidungen	72	71	49	161	71	49	72	71	49	183	-	-	
Treppen	5.1	4.2	3.6	9.9	4.2	3.6	5.1	4.2	3.6	11	-	-	
Bodenbeläge	89	80	55	200	80	55	89	80	55	225	-	-	
Fassaden	35	38	28	83	38	28	35	38	28	93	-	-	
Ausstattung	154	159	100	268	159	100	154	159	100	327	-	-	
Möbel	177	282	59	337	282	59	177	282	59	560	-	-	
Total Ausbau	533	634	295	1'059	634	295	532	634	295	1'399	-	-	
Holzprodukte	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	
Verpackungen	355	135	14	627	135	14	355	135	14	747	-	-	
Holzwaren	16	75	10	62	75	10	16	75	10	127	-	-	
Bauhilfsstoffe (Schalung)	109	35	25	177	35	25	109	35	25	187	-	-	
Do it	18	75	11	64	75	11	18	75	11	129	-	-	
Total Holzprodukte	497	320	60	930	320	60	497	320	60	1'190	-	-	

Tab. 23 > Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien *Kyoto optimiert*

	Situation 2000			Kyoto optimiert 2030					
	1000 m³	1000 m³	1000 m³	Bau			Energie		
	Produktion	Import	Export	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³	1000 m³
Konstruktion	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Wände	39	48	32	204	48	32	39	48	32
Stützen	3.0	3.4	2.4	4.9	3.4	2.4	3.0	3.4	2.4
Geschossdecken	122	100	85	755	100	85	122	100	85
Dämmung	12	8	8	27	8	8	12	8	8
Dächer	397	375	255	530	375	255	397	375	255
Tiefbau (Zäune)	104	115	83	188	115	83	104	115	83
Total Konstruktion	678	649	465	1'709	649	465	678	649	465
Ausbau	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Wand- und Deckenverkleidungen	72	71	49	161	71	49	72	71	49
Treppen	5.1	4.2	3.6	9.9	4.2	3.6	5.1	4.2	3.6
Bodenbeläge	89	80	55	200	80	55	89	80	55
Fassaden	35	38	28	83	38	28	35	38	28
Ausstattung	154	159	100	268	159	100	154	159	100
Möbel	177	282	59	337	282	59	177	282	59
Total Ausbau	533	634	295	1'059	634	295	532	634	295
Holzprodukte	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Verpackungen	355	135	14	627	135	14	355	135	14
Holzwaren	16	75	10	62	75	10	16	75	10
Bauhilfsstoffe (Schalung)	109	35	25	177	35	25	109	35	25
Do it	18	75	11	64	75	11	18	75	11
Total Holzprodukte	497	320	60	930	320	60	497	320	60

Tab. 24 > Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien *Baseline* und *Reduzierte Waldpflege*

	Situation 2000			Baseline 2030			Reduzierte Waldpflege 2030		
	1000 m ³	1000 m ³	1000 m ³						
Konstruktion	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Wände	39	48	32	64	48	32	32	48	32
Stützen	3.0	3.4	2.4	4.0	3.4	2.4	2.4	3.4	2.4
Geschossdecken	122	100	85	185	100	85	85	100	85
Dämmung	12	8	8	17	8	8	8	8	8
Dächer	397	375	255	498	375	255	255	375	255
Tiefbau (Zäune)	104	115	83	98	115	83	83	115	83
Total Konstruktion	678	649	465	866	649	465	466	649	465
Ausbau	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Wand- und Deckenverkleidungen	72	71	49	93	71	49	49	71	49
Treppen	5.1	4.2	3.6	7.4	4.2	3.6	3.6	4.2	3.6
Bodenbeläge	89	80	55	120	80	55	55	80	55
Fassaden	35	38	28	45	38	28	28	38	28
Ausstattung	154	159	100	219	159	100	100	159	100
Möbel	177	282	59	227	282	59	59	282	59
Total Ausbau	533	634	295	711	634	295	295	634	295
Holzprodukte	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export	Produktion	Import	Export
Verpackungen	355	135	14	380	135	14	218	135	14
Holzwaren	16	75	10	53.3	75	10	15.1	75	10
Bauhilfsstoffe (Schalung)	109	35	25	133	35	25	87	35	25
Do it	18	75	11	81	75	11	34	75	11
Total Holzprodukte	497	320	60	647	320	60	354	320	60

A4 Holzverwertung bei den einzelnen Szenarien

Abb. 50 > Holzverwertung beim Szenario *Zuwachs optimiert*

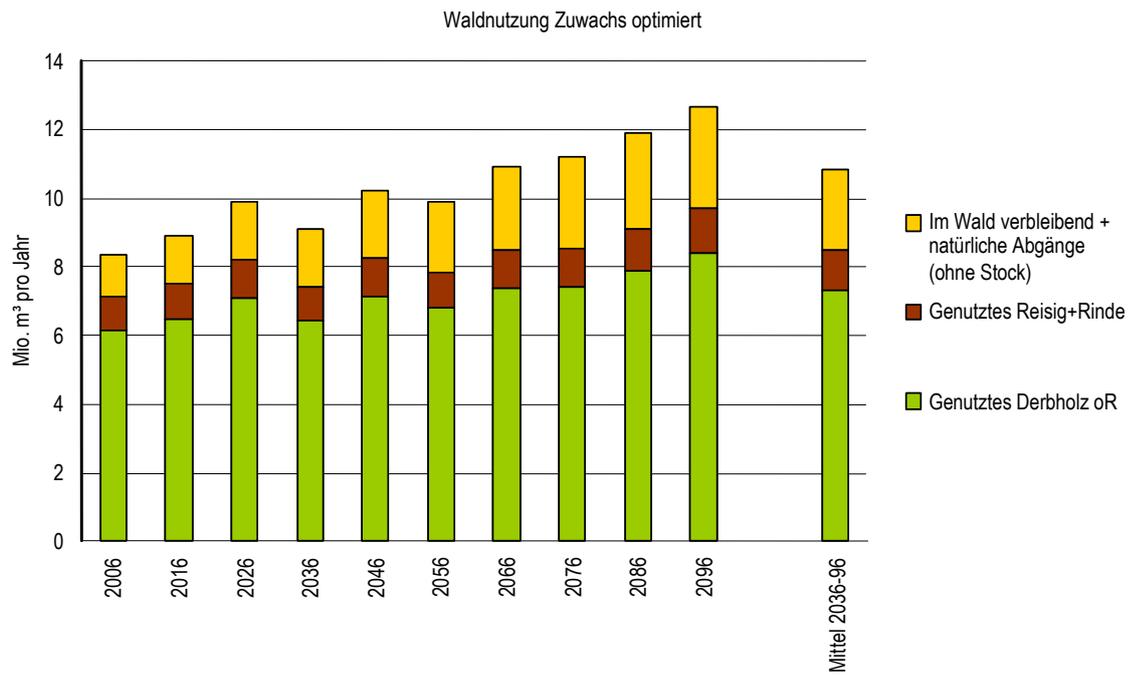


Abb. 51 > Holzverwertung beim Szenario *Kyoto optimiert*

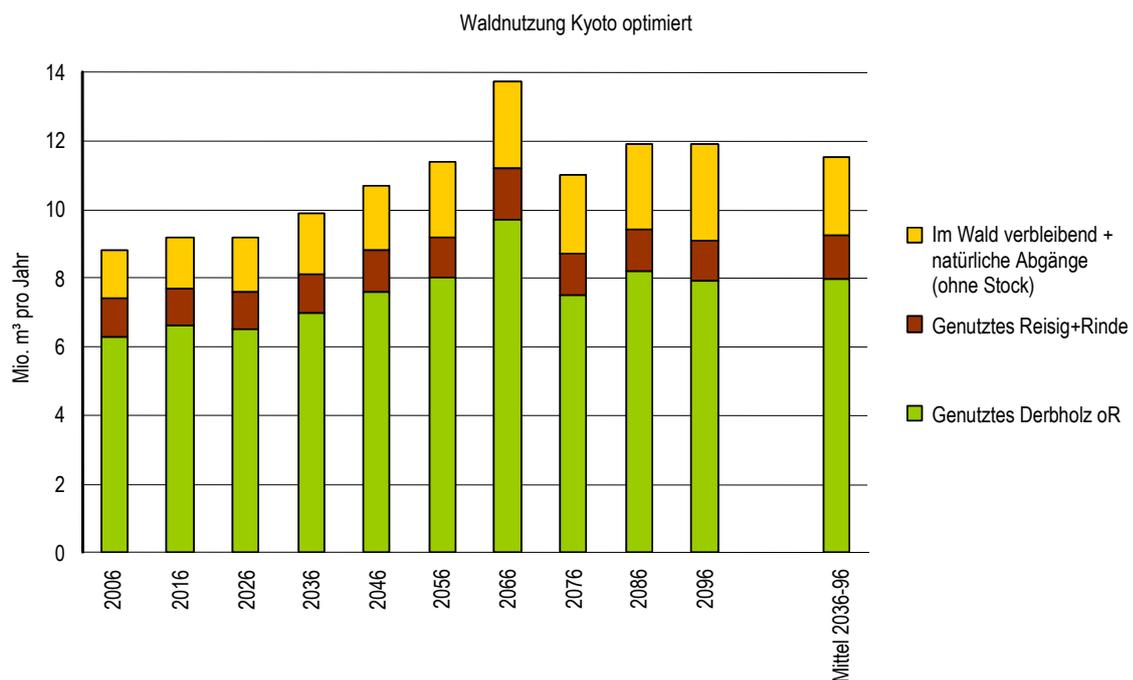


Abb. 52 > Holzverwertung beim Szenario *Baseline*

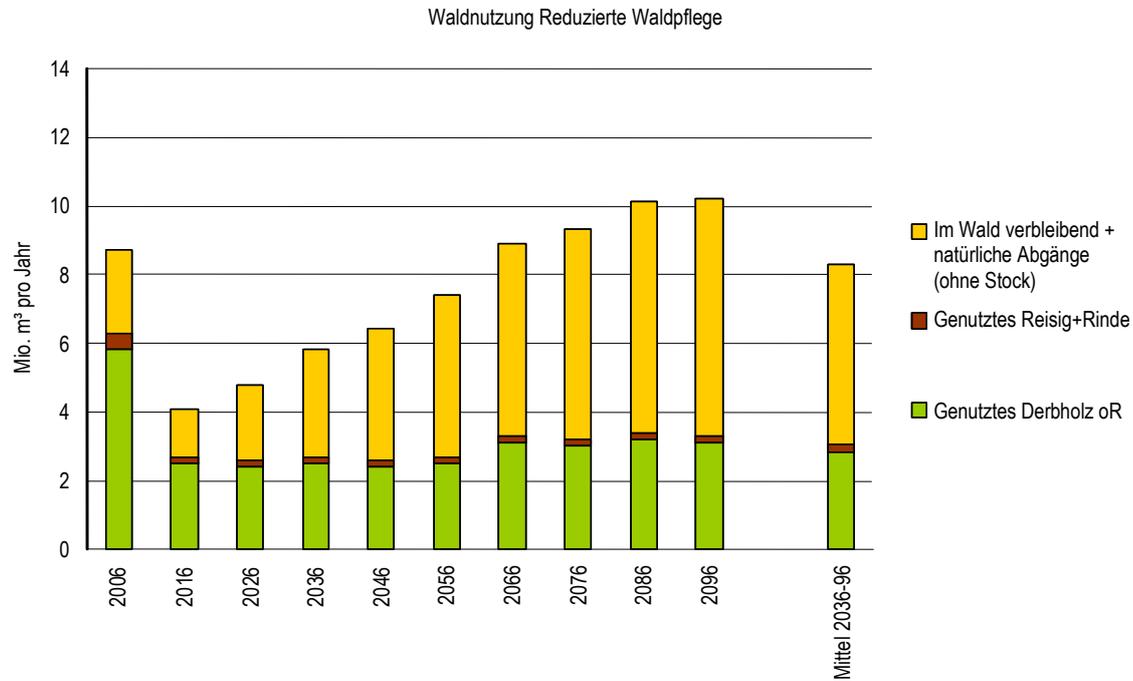
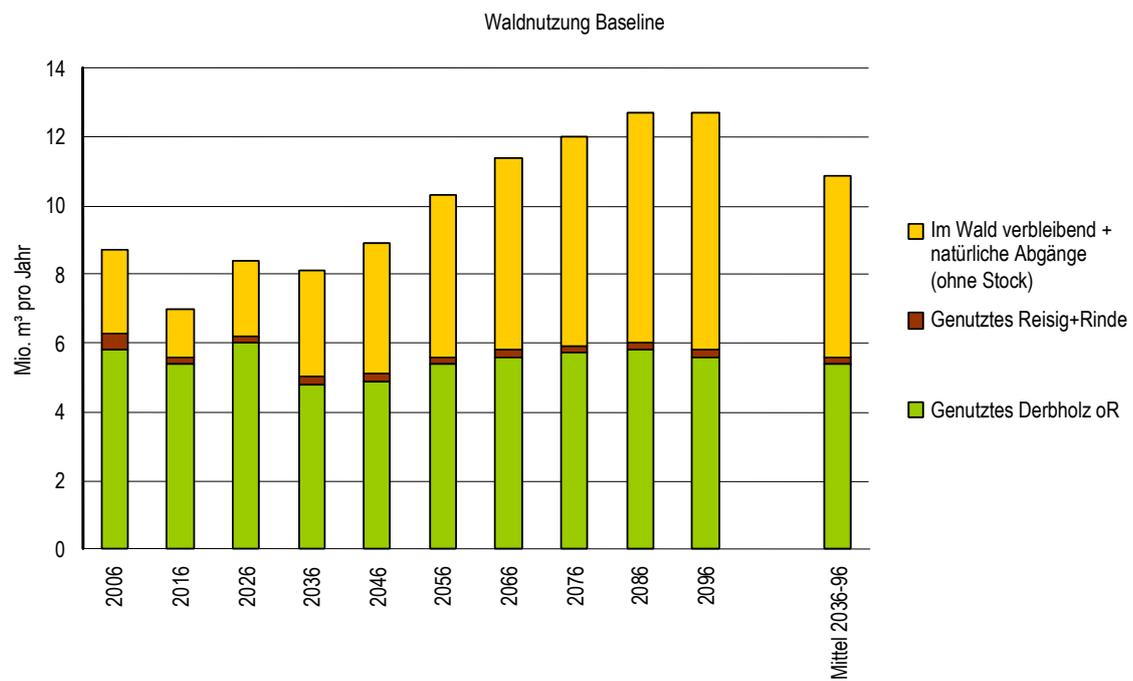


Abb. 53 > Holzverwertung beim Szenario *Reduzierte Waldpflege*



A5 Faktoren der Materialsubstitution

Die folgenden Tabellen Tab. 25 und Tab. 26 fassen die verwendeten Faktoren der Materialsubstitution zusammen. Sie sind pro kg verbautem Holz ausgewiesen und können somit mit den entsprechenden Holz-Flüssen in den bzw. aus dem Gebäudepark multipliziert werden.

Tab. 25 > Substitutionsfaktoren der Materialsubstitution: Konstruktion (eigene Berechnungen)

			Pro kg Holz		Substitutionseffekt	
			Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]
Konstruktion						
Aussenwände	Blockholzplatte	Produktion	0.246	0.208	-1.116	-0.252
		Entsorgung	0.017	0.015	-0.172	-0.057
		Total	0.264	0.222		
	Backsteinzweischalenmauerwerk	Produktion	1.362	0.460		
		Entsorgung	0.189	0.071		
		Total	1.551	0.531		
Stützen	Brettschichtholzplatte	Produktion	0.110	1.139	0.081	-2.378
		Entsorgung	0.017	0.013	0.017	0.013
		Total	0.127	1.152		
	Stahlstütze	Produktion	0.029	3.517		
		Entsorgung	0.000	0.000		
		Total	0.029	3.517		
Geschossdecken	Holzbalkendecke	Produktion	0.468	0.520	-1.057	-0.088
		Entsorgung	0.081	0.037	-1.255	-0.336
		Total	0.548	0.558		
	Stahlbetondecke	Produktion	1.525	0.608		
		Entsorgung	1.335	0.374		
		Total	2.860	0.982		
Dämmung	Holzfaserdämmplatte	Produktion	0.420	0.133	0.301	0.086
		Entsorgung	0.016	0.013	0.009	0.010
		Total	0.436	0.146		
	Steinwolle	Produktion	0.119	0.046		
		Entsorgung	0.007	0.002		
		Total	0.126	0.049		
Dächer	Sichtbalkenkonstruktion	Produktion	0.886	0.255	-0.038	-1.218
		Entsorgung	0.070	0.029	-0.034	-0.013
		Total	0.957	0.283		
	Porenbetondecke	Produktion	0.924	1.473		
		Entsorgung	0.104	0.041		
		Total	1.028	1.514		
Tiefbau	Holzpalisade	Produktion	0.049	0.268	-0.696	0.020
		Entsorgung	0.011	0.001	-0.044	-0.009
		Total	0.060	0.269		
	Betonpalisade	Produktion	0.746	0.248		
		Entsorgung	0.055	0.010		
		Total	0.801	0.258		

Tab. 26 > Substitutionsfaktoren der Materialsubstitution: Ausbau und Holzprodukte (eigene Berechnungen)

			Pro kg Holz		Substitutionseffekt	
			Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]
Ausbau						
Decken und Wandverkleidungen	Fichtentäfer	Produktion	0.034	0.052	-0.603	-1.086
		Entsorgung	0.017	0.017	-0.172	-0.052
		Total	0.052	0.069		
	Verputz innen	Produktion	0.638	1.138		
		Entsorgung	0.190	0.069		
		Total	0.828	1.207		
Treppen	Holztreppe Eiche	Produktion	0.024	0.093	-0.486	-0.780
		Entsorgung	0.015	0.011	-0.360	-0.094
		Total	0.038	0.105		
	Betonfertigtreppe	Produktion	0.509	0.873		
		Entsorgung	0.375	0.106		
		Total	0.884	0.979		
Bodenbeläge	3-Schicht Parkett	Produktion	0.384	0.421	0.284	-2.228
		Entsorgung	0.027	0.018	-0.091	-0.027
		Total	0.412	0.438		
	Keramikfliesen glasiert	Produktion	0.100	2.649		
		Entsorgung	0.118	0.045		
		Total	0.218	2.694		
Fassaden	Holzschalung sägerauh	Produktion	0.043	-0.032	-0.730	-1.398
		Entsorgung	0.019	0.021	-0.213	-0.072
		Total	0.062	-0.011		
	Verputz ausen	Produktion	0.773	1.366		
		Entsorgung	0.232	0.093		
		Total	1.005	1.459		
Ausstattung	Holzwerkstoffzarge	Produktion	1.444	2.271	0.106	-2.765
		Entsorgung	0.067	0.058	-0.165	0.058
		Total	1.510	2.329		
	Stahlzarge	Produktion	1.337	5.035		
		Entsorgung	0.231	0.000		
		Total	1.569	5.035		
Möbel	Möbel (Spanplatte)	Produktion	1.105	1.696	0.593	-2.620
		Entsorgung	0.067	0.058	0.067	0.058
		Total	1.172	1.754		
	Stahlmöbel	Produktion	0.513	4.316		
		Entsorgung	0.000	0.000		
		Total	0.513	4.316		

			Pro kg Holz		Substitutionseffekt	
			Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen CH [kg CO ₂ -equiv.]	Fossile CO ₂ -Emissionen im Ausland [kg CO ₂ -equiv.]
Verpackung/Holzwaren						
Verpackung/Holzwaren	Holzschalung sägerauh	Produktion	0.043	-0.032	-0.618	-1.131
		Entsorgung	0.019	0.021	-1.373	0.021
		Total	0.062	-0.011		
	Polypropylen	Produktion	0.661	1.099		
		Entsorgung	1.392	0.000		
		Total	2.053	1.099		
Bauhilfsstoffe	Dreischichtplatte	Total	0.357	0.285	0.357	0.108
		Produktion	0.016	0.014	-0.011	0.014
		Entsorgung	0.373	0.299		
	Alu-Schalung	Produktion	0.000	0.178		
		Entsorgung	0.027	0.000		
		Total	0.027	0.178		
Do it	Fichtentäfer	Produktion	0.034	0.052	-0.603	-1.086
		Entsorgung	0.017	0.017	-0.172	-0.052
		Total	0.052	0.069		
	Verputz innen	Produktion	0.638	1.138		
		Entsorgung	0.190	0.069		
		Total	0.828	1.207		

A6 Substitutionsfaktoren für die Produktkategorien der Aussenhandelsbilanz

Ein modelltechnisches Problem bestand im Umstand, dass die Aussenhandelsstatistik für Holzprodukte im SIMBOX-Modell nicht in den Produktkategorien der Inlandproduktion modelliert ist. Deshalb mussten die Emissions- und Substitutionsfaktoren der Inlandproduktion sinnvoll auf folgende Produktkategorien umgelegt werden:

- > Möbel/Häuser,
- > $\frac{3}{4}$ -Fabrikate,
- > Halbfabrikate,
- > Rundholz/Restholz.

Darüber hinaus mussten die Emissions- bzw. Substitutionsfaktoren aus der Produktion und Entsorgung für die Holzprodukte und deren Substitute sowohl für die Import- als auch die Exportsituation örtlich angepasst werden.

Folgende Überlegungen liegen der Bestimmung der Emissions- und Substitutionsfaktoren für die Importe von Holzprodukten unter Annahme der Substitution inländischer Holzprodukte zugrunde:

- > Die Zusammensetzung der Produktkategorie Häuser/Möbel setzt sich aus dem gewichteten Mittel aus den gewichteten Produktkategorien Konstruktion und Ausbau gemäss Import- bzw. Exportstatistik zusammen.
- > Die Zusammensetzung der Produktkategorien Rundholz/Restholz, Halbfabrikate und Dreiviertelfabrikate setzt sich aus dem gewichteten Mittel aus den gewichteten Produktkategorien Konstruktion, Ausbau und Holzwaren gemäss Import- bzw. Exportstatistik zusammen.
- > Bei der Produktkategorie Rundholz/Restholz werden die Produktionsemissionen der Rundholzerzeugung unter Annahme von 28 % Laubholz, 82 % Nadelholz bei Importen dem Ausland, bei Exporten dem Inland zugerechnet.
- > Bei der Produktkategorie Häuser/Möbel wird von der vollständigen Herstellung im Inland bei Exporten bzw. im Ausland bei Importen ausgegangen. Bei der Herstellung im Ausland fallen alle Emissionen im Ausland an; bei der Herstellung im Inland teilen sich die Emissionen zwischen Inland und Ausland entsprechend der Produktionsemissionsfaktoren der Inlandproduktion auf.
- > Die Produktkategorien Halbfabrikate und $\frac{3}{4}$ -Fabrikate werden in Analogie zur Produktkategorie Rundholz/Restholz modelliert, wobei die weiteren Produktionsemissionen aus der Fertigstellung, *i.e.* die gesamten Produktionsemissionen ohne die Rundholzherstellung im Falle der Halbfabrikate hälftig auf das In- und Ausland verteilt werden. Im Falle der $\frac{3}{4}$ -Fabrikate werden bei den Importen $\frac{3}{4}$ der Weiterverarbeitungsemissionen dem Ausland und $\frac{1}{4}$ der Weiterverarbeitungsemissionen dem Inland zugeordnet (wobei die inländische Weiterverarbeitung wieder Emissionen aus der Bereitstellung von fossilen Energieträgern und Hilfsprodukten wie z. B. Klebern im Ausland mit sich bringt). Bei den Exporten werden $\frac{3}{4}$ der Weiterverarbeitungsemissionen dem Inland zugeordnet (wobei die inländische Weiterverarbeitung wieder Bereitstellungsemissionen im Ausland mit sich bringt) und $\frac{1}{4}$ der Weiterverarbeitungsemissionen dem Ausland zugeordnet.

> Verzeichnisse

Abkürzungen

BAFU

Bundesamt für Umwelt (vormals BUWAL)

BFE

Bundesamt für Energie

BEF

Biomasse-Expansionsfaktor

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU)

EAWAG

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz. Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

EMPA

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

C

Chem. Zeichen für Kohlenstoff

CO₂

Chem. Zeichen für Kohlendioxid

CO₂-eq

Kohlendioxid-Äquivalent

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

H

Chem. Zeichen für Wasserstoff

kg TS/E*a

Kilogramm Trockensubstanz pro Einwohner und Jahr

KVA

Kehrichtverbrennungsanlage

LFI

Landesforstinventar

LKW

Lastkraftwagen

O

Chem. Zeichen für Sauerstoff

TS

Trockensubstanz

WSL

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

ZPK

Verband der Schweizerischen Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie

Glossar

Abraum

Abfallholz beim Holzschlagen

Allometrie

In diesem Zusammenhang Grössenverhältnisse zwischen Baumteilen (z. B. Schaftholz/Astreisig oder Wurzeln).

Altholz

Aus der Nutzung (Konstruktion, Ausbau, Holzprodukte) ausscheidendes Holz, welches im Inland energetisch genutzt wird. Exportiertes Altholz wird sowohl energetisch wie auch stofflich (z. B. in Spanplatten) genutzt.

Ausbauholz

Den Ausbauteilen werden Böden, Wand- und Deckenverkleidungen, Fenster und Türen, Einbauten sowie Möbel zugerechnet. Ihre Lebensdauer ist bedeutend kürzer und streut vermutlich wesentlich mehr als bei den Konstruktionsteilen. Als mittlere Lebensdauer werden 30 Jahre angenommen.

Aussenhandel

Wareneinfuhr und Warenausfuhr

Basalfächen-Zuwachs

Die Basalfäche entspricht der Summe der Baumquerschnittsflächen auf der Höhe 1.30 m (=Brusthöhe) eines Bestandes. Der Zuwachs dieser Basalfäche ergibt sich aus der Differenz zwischen zwei Erhebungszeitpunkten.

Bau-Szenarien

Szenarien, bei denen die Holzverwendung im Bauwesen Priorität hat: Zuwachs optimiert, Bau, Kyoto optimiert.

Beschäftigungswirkung

Auswirkung auf die Anzahl Beschäftigte in einer Branche

CO₂-Äquivalent

CO₂-Äquivalent ist eine Kennzahl für das Treibhausgaspotenzial von Stoffen in der Erdatmosphäre wie z. B. Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Als Referenzwert dient die Treibhauswirkung von Kohlendioxid. Das CO₂-Äquivalent ist als Referenzwert unter anderem wichtig für das Kyoto-Protokoll, da alle durch das Protokoll reglementierten Treibhausgase mit diesem Wert angegeben sind.

Durchforstung

Waldbauliche (Pflege-) Eingriffe bis vor der Ernte

Effekte

Hier meist als CO₂-wirksame Auswirkungen verstanden (ausser sozio-ökonomische Effekte).

Empirisch

Auf Erfahrungen oder Beobachtungen beruhend; für die vorliegende Untersuchung gingen die Daten aus den Landesforstinventaren I und II als Erfahrungswerte ein.

Energetische Substitution

Ersatz von fossilen Energieträgern durch Holz (sowohl Waldholz, Restholz oder Altholz)

Gebäudepark

Summe aller Bauten

Heterotroph

In der Ernährung auf Stoffwechselprodukte anderer Organismen angewiesen.

Holzlager

Sämtliches gespeichertes Holz im Zivilisationskreislauf

Holzprodukte

Darunter werden Verpackungen, Bauhilfsstoffe und Do-it-Produkte verstanden. Sie werden hier dem Bauwesen zugeordnet.

Konstruktionsholz

Die Gebäudekonstruktion wird definiert als Summe der Bauteile mit tragendem Charakter, also Dachkonstruktionen, Geschossdecken, tragenden Aussen- und Innenwänden sowie Treppen. Ferner gehören alle tragenden Aussenbauteile wie Brücken und Stege dazu. Den Konstruktions-Bauteilen ist eine lange Lebensdauer gemeinsam, die in dieser Arbeit mit 80 Jahren definiert wird.

Kumuliert

Aufsummierte Werte über die gesamte Betrachtungsperiode (2000 bis 2096, resp. 2150).

Kyoto-Protokoll

Das Kyoto-Protokoll (benannt nach dem Ort der Konferenz Ky to in Japan) ist ein 1997 beschlossenes Zusatzprotokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) der Vereinten Nationen mit dem Ziel des Klimaschutzes. Das 2005 in Kraft getretene und bis zum Jahr

2012 gültige Abkommen schreibt verbindliche Zielwerte für den Ausstoss von Treibhausgasen fest, welche die hauptsächliche Ursache der globalen Erwärmung sind.

Lagergleichgewicht

Gleicher Fluss in ein Lager hinein wie hinaus (keine Lagerveränderung).

Logistisch(e) Kurve

Der Graph der Funktion beschreibt eine S-förmige Kurve. Am Anfang ist das Wachstum klein. In der Mitte (genauer: im Wendepunkt) steigt die Kurve am stärksten, bis sie gegen Ende wieder horizontal wird.

Logistische Regression

Unter logistischer Regression versteht man ein Verfahren zur (meist multivarianten) Analyse binärer abhängiger Variablen.

Materielle Substitution

Hier: Ersatz von Nicht-Holz Baumaterialien (Beton, Stahl etc.) durch Holzbauteile.

MASSIMO

Empirisches, dynamisches Waldmodell das dazu dient, die Waldentwicklung zu simulieren.

Mortalität

Sterblichkeit; bezeichnet den Anteil der Bäume, welche im Bestand aufgrund des Alters, äusserer Einwirkungen oder zu hoher Bestandesdichte absterben.

Prozess

Ausdruck aus der Stoffflussanalyse. Ein Prozess bezeichnet ein Bilanzvolumen, in welchem Stoffe oder Güter transportiert, transformiert oder gelagert werden oder ihren Wert ändern.

Regressionsmodell

Die Regressionsanalyse misst den Zusammenhang zwischen zwei oder mehreren Werten.

Restholz

Sämtliches aus der Verarbeitung stammendes Holz, welches energetisch genutzt wird.

Sozio-ökonomische Effekte

Auswirkungen auf die Beschäftigungszahlen und die Wertschöpfung.

Stochastisch

Zufallsabhängig

Substitution

Ersatz einer bestimmten Sache durch eine andere.

Substitutions-Szenarien

Szenarien, bei denen die Substitution, sei es die energetische oder die materielle, im Vordergrund stehen: Zuwachs optimiert, Bau, Kyoto optimiert, Zuwachs optimiert, Energie

Summierte Effekte

Summe der einzelnen Effekte (z. B. inländische- plus ausländische Effekte)

Umtriebszeit

Die Umtriebszeit bezeichnet den Zeitraum von der Entstehung eines Baumbestandes aufgrund von Pflanzung oder natürlichem Anflug bis zur Endnutzung bzw. Verjüngung des Bestandes.

Vorleistung

Vorleistungen sind fremdbezogene Güter und Dienste, die im Leistungsprozess verbraucht werden. Hierzu zählen zugelieferte Materialien und bezogene Serviceleistungen, nicht aber der Faktor Arbeit.

Waldlager

Summe der Effekte im Wald (Veränderung der lebenden Baum-Biomasse + Veränderung der C-Lager in und auf dem Boden + Ausgasung in die Atmosphäre).

Wertschöpfung

Wertschöpfung misst den Ertrag wirtschaftlicher Tätigkeit als Differenz zwischen der Leistung einer Wirtschaftseinheit und der zur Leistungserstellung verbrauchten Vorleistung. Wertschöpfung ist gleichzeitig die Summe aller Einkommen, die aus einer wirtschaftlichen Aktivität entstehen.

YASSO

Modell zur Bestimmung der Veränderung des im Boden gelagerten Kohlenstoffes

Zivilisationskreislauf

= Anthroposphäre = Lebensraum des Menschen in dem seine von ihm gebauten und betriebenen biologischen und technischen Prozesse stehen und seine Aktivitäten stattfinden

Abbildungen

Abb. 1	Zusammenspiel der verwendeten Modelle.	19
Abb. 2	Ablaufschema Szenario-Modell.	24
Abb. 3	Schätzung der Biomasse und des C-Gehalts.	25
Abb. 4	Struktur des Bodenmodells YASSO.	26
Abb. 5	Das Modell-System der Schweizer Holzwirtschaft.	27

Abb. 6	Modellierte Holzlager im Zivilisationskreislauf im In- und Ausland, ohne Wald.	30
Abb. 7	Schema der betrachteten Substitutionseffekte im In- und Ausland.	32
Abb. 8	Treibhausprofile verschiedener funktional gleichwertiger Produkte.	35
Abb. 9	C-Lager im Schweizer Wald im Jahr 2000.	38
Abb. 10	C-Lager im Schweizer Wald im Jahr 2000 geordnet nach unterirdischer und oberirdischer Komponenten.	38
Abb. 11	Schematische Darstellung der C-Flüsse im Wald.	39
Abb. 12	Jährliche Vorratsveränderung im stehenden Schweizer Wald (lebende Baumbiomasse ohne Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen).	50
Abb. 13	Kumulierte Vorratsveränderung im stehenden Schweizer Wald (lebende Baumbiomasse ohne Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen).	50
Abb. 14	Vergleich der jährlichen C-Effekte von Totholz in und auf dem Boden (-) und in der Atmosphäre (-) im Schweizer Wald.	51
Abb. 15	Summe der jährlichen C-Effekte von Totholz im Schweizer Wald.	51
Abb. 16	Jährliche Summe der Effekte im Schweizer Wald.	51
Abb. 17	Kumulierte Summe der Effekte im Schweizer Wald.	51
Abb. 18	Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf.	52
Abb. 19	Kumulierte C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf.	52

Abb. 20 Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	54	Abb. 34 Kumulierte inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	59
Abb. 21 Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	54	Abb. 35 Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	59
Abb. 22 Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	55	Abb. 36 Zeitliche Abfolge der einzelnen jährlichen Lager- und Material-Effekte anhand des Szenarios <i>Zuwachs optimiert, Bau</i> , bezogen auf das Jahr 2000.	60
Abb. 23 Kumulierte inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	55	Abb. 37 Totale Effekte Schweiz, pro Jahr.	61
Abb. 24 Summe der jährlichen CO ₂ -Effekte im Zivilisationskreislauf in der Schweiz.	56	Abb. 38 Totale Effekte Schweiz, kumuliert.	61
Abb. 25 Summe der kumulierten CO ₂ -Effekte im Zivilisationskreislauf in der Schweiz.	56	Abb. 39 Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung, inkl. Autarkie.	66
Abb. 26 Vergleich der totalen jährlichen CO ₂ -Effekte im Wald (-) und im Zivilisationskreislauf (-) in der Schweiz.	57	Abb. 40 Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung, inkl. Autarkie.	66
Abb. 27 Vergleich der totalen kumulierten CO ₂ -Effekte im Wald (-) und im Zivilisationskreislauf (-) in der Schweiz.	57	Abb. 41 Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf, inkl. Autarkie.	66
Abb. 28 Jährliche C-Lagerveränderungen im inländischen Zivilisationskreislauf gegenüber dem Jahr 2000.	58	Abb. 42 Totale jährliche Effekte Schweiz, inkl. Autarkie.	66
Abb. 29 Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	58	Abb. 43 Summe der in- und ausländischen CO ₂ -Effekte.	68
Abb. 30 Kumulierte inländische C-Lagerveränderung im Zivilisationskreislauf gegenüber dem Jahr 2000.	58	Abb. 44 Totale ausländische Effekte, pro Jahr.	69
Abb. 31 Kumulierte inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	58	Abb. 45 Totale ausländische Effekte, kumuliert.	69
Abb. 32 Jährliche inländische Energie-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	59	Abb. 46 Vergleich der jährlichen CO ₂ -Effekte im Ausland und in der Schweiz.	70
Abb. 33 Jährliche inländische Material-Substitutionseffekte aus der inländischen Holzverwendung.	59	Abb. 47 Vergleich der kumulierten CO ₂ -Effekte im Ausland und in der Schweiz.	70
		Abb. 48 Totale summierte in- und ausländische Effekte, pro Jahr.	71

<p>Abb. 49 Totale summierte in- und ausländische Effekte, kumuliert. 71</p> <p>Abb. 50 Holzverwertung beim Szenario <i>Zuwachs optimiert</i>. 89</p> <p>Abb. 51 Holzverwertung beim Szenario <i>Kyoto optimiert</i>. 89</p> <p>Abb. 52 Holzverwertung beim Szenario <i>Baseline</i>. 90</p> <p>Abb. 53 Holzverwertung beim Szenario <i>Reduzierte Waldpflege</i>. 90</p> <p>Tabellen</p> <hr/> <p>Tab. 1 Technische Daten zu den Landesforstinventaren I, II und III 23</p> <p>Tab. 2 Festgelegte Parametergrößen im Jahr 2000 29</p> <p>Tab. 3 Annahmen für die Modellierung der Lager aus der Aussenhandelsbilanz 31</p> <p>Tab. 4 Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte 33</p> <p>Tab. 5 Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte 33</p> <p>Tab. 6 Definition der C-Lager im Wald 37</p> <p>Tab. 7 Zusammensetzung der lebenden Baum-Biomasse 38</p> <p>Tab. 8 C-Flüsse im Schweizer Wald im Jahr 2000 (Lothar-korrigiert) 39</p> <p>Tab. 9 C-Lager im Schweizer Zivilisationskreislauf im Jahr 2000 40</p> <p>Tab. 10 C-Flüsse im Schweizer Zivilisationskreislauf im Jahr 2000 und daraus resultierende Lagerveränderungen 41</p> <p>Tab. 11 Kurzbeschrieb der Szenarien 42</p>	<p>Tab. 12 Optimierte Umtriebszeiten 43</p> <p>Tab. 13 Abschätzung der Beschäftigungseffekte veränderter Nutzungs-, Verarbeitungs- und Verwendungsmengen von Holz in der Schweiz entsprechend den Szenarien 63</p> <p>Tab. 14 Abschätzung der Wertschöpfungseffekte veränderter Nutzungs-, Verarbeitungs- und Verwendungsmengen von Holz in der Schweiz entsprechend den Szenarien 64</p> <p>Tab. 15 Gerundete Kennzahlen der eingesparten CO₂-Emissionen pro eingesetzte Holzmenge 76</p> <p>Tab. 16 Prozesse und Flüsse des Holzflussmodells 80</p> <p>Tab. 17 Details Szenarien <i>Zuwachs optimiert</i> 83</p> <p>Tab. 18 Details Szenarien <i>Kyoto optimiert</i> 84</p> <p>Tab. 19 Details Szenarien <i>Baseline</i> und <i>Reduzierte Waldpflege</i> 85</p> <p>Tab. 20 Mengen und Veränderungen der Marktanteile bei den einzelnen Szenarien gegenüber dem Ist-Zustand 86</p> <p>Tab. 21 Anteil der einzelnen Bauteile innerhalb der Konstruktion und des Ausbaus 86</p> <p>Tab. 22 Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien <i>Zuwachs optimiert</i> 87</p> <p>Tab. 23 Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien <i>Kyoto optimiert</i> 87</p> <p>Tab. 24 Aussenhandel und Produktion bei den Szenarien <i>Baseline</i> und <i>Reduzierte Waldpflege</i> 88</p> <p>Tab. 25 Substitutionsfaktoren der Materialsstitution: Konstruktion (eigene Berechnungen) 91</p> <p>Tab. 26 Substitutionsfaktoren der Materialsstitution: Ausbau und Holzprodukte (eigene Berechnungen) 92</p>
--	---

Literatur

- Arioli M., Haag M., Martinovits A. 1997: Baumarkt Schweiz: Entwicklungsperspektive 1996–2010. Schweizerischer Baumeisterverband, Zürich.
- Baccini P., Bader H.-P. 1996: Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G. 1993: Metapolis, Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt; Bericht 34A des NFP «Stadt und Verkehr». ETH-Zürich und EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalte, Dübendorf, in Zusammenarbeit mit Stadtverwaltung St. Gallen und Institut für Marktanalysen AG (IHA), Hergiswil, EAWAG, Zürich.
- Bader H.-P., Scheidegger R. 1995: SIMBOX, Benutzeranleitung zum Programm SIMBOX, EAWAG Dübendorf. EAWAG, Dübendorf.
- Basler & Hofmann 1997: Studie über die zweite Holzverarbeitungsstufe in der Schweiz 1995, Fortschreibung der Studie 1991. Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Statistik, Bundesamt für Statistik, Bern.
- BFE 2006: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- 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.
- Biedermann A., Carlucci L., Ackermann L., Ehram R., Furger G. 1999: Ökologische und gesundheitliche Aspekte von (Massiv-Holz) Konstruktionen; Ein Forschungsauftrag von «Holz 2000». Institut für Baubiologie (SIB), Zürich.
- Brassel P., Brändli U.B. (Eds.) 1999: Schweizerisches Landesforstinventar; Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt.
- BUWAL 1996: Endverbrauch des Holzes in der Schweiz 1996. Umwelt-Materialien Nr. 94, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- EIF 1912: Produktion und Verbrauch von Nutzholz. A. Einleitung: Einige statistische Angaben über die forstlichen Verhältnisse der Schweiz. Eidg. Inspektion für Forstwesen, Zürich.
- ESA 1910: Schweizerische Forststatistik 1910. 2. Lieferung. Statistik des Holzverkehrs der Schweiz mit dem Auslande in den Jahren 1885 bis 1907. Eidg. Statistisches Amt, Zürich.
- ESA 1922–1974: Schweizer Forststatistik. Jahre 1922 bis 1974, Statistische Quellenwerke der Schweiz, diverse Hefte. Eidg. Statistisches Amt, Bern.
- ESA 1930: Rundholzverbrauch in der Schweiz. Erhebung 1930. Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 21, Eidg. Statistisches Amt, Bern.
- FAO 1953a: FAO European Timber Statistics (1913–1950). Food and Agriculture Organization (FAO), Geneva.
- FAO 1953b: Production et commerce du bois en Europe. FAO Consommation, Genève.
- FAO 1964: Production et commerce du bois en Europe, evolutions et perspectives. Nouvelle étude 1950–1975, FAO Consommation, New York.
- Fischlin A., Buchter B., Matile L., Ammon K., Hepperle E., Leifeld J., Fuhrer J. 2003: Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Verfasst im Auftrag des BUWAL. Systems Ecology Report No. 29, Institut für Terrestrische Ökologie, Eidg. Techn. Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich.
- Fischlin A., Buchter B., Matile L., Hofer P., Taverna R., Werner F., Richter K. 2006: CO₂-Senken und -Quellen in der Waldwirtschaft – Anrechnung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Umwelt-Wissen Nr. 0602, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Hofer P., Morf L., Taverna R., Richter K. 2001: Speicherung von CO₂ in Holzlagern im Zivilisationskreislauf und Emissionseffekte der Substitution bei gesteigerter Holzverwendung. GEO Partner, Zürich.
- Hofer P., Taverna R. et al. 2004: Branchenprofil der Wald- und Holzwirtschaft. BUWAL. Umwelt-Materialien Nr. 187, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Hofer P., Taverna R., Werner F., Richter K. 2002a: Gebäudepark als Holzlager. GEO Partner, Zürich.
- Hofer P., Taverna R., Werner F., Richter K. 2002b: Senkenleistung und Materialsubstitution beim Schweizer Gebäudepark im Hinblick auf die nationale Treibhausgasbilanz. GEO Partner, Zürich.
- Hofer P., Taverna R., Werner F., Richter K. 2002c: Senkenleistung und Materialsubstitution beim Schweizer Gebäudepark im Hinblick auf die nationale Treibhausgasbilanz. GEO Partner, Zürich.
- IPCC 1996: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories; reference manual. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama.
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>
- IPCC 2003: Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama.

- Kaufmann E. 2000: Prognosis and Management Scenarios. Pages 197–206 in P. Brassel and H. Lischke, editors. Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf.
- Kaufmann E. 2005: Mündliche Mitteilung von E. Kaufmann (WSL).
- Kaufmann E. 2006: Holzressourcen im Schweizer Wald. In: 7. Seminar für die Holzindustrie und die Forstwirtschaft, Biel.
- Kaufmann E., Taverna R. 2007: Rohdaten (unpubliziert) von E. Kaufmann (WSL), Umrechnung von Kaufmann und Taverna.
- Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievänen R. 2005: Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189: 168–182.
- Müller D. 1998: Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes. Diss., Eidg. Technische Hochschule (ETH), Zürich.
- Müller D., Bader H.-P., Bacchini P. 2004: Long-term coordination of timber production and consumption using a dynamic material and energy flow analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 8(3): 65–87.
- OZD Oberzolldirektion 2001: Aussenhandelsstatistik 2000, Auszug, Detailtabellen der Oberzolldirektion (OZD) zu den Zollkapiteln 44, 47, 48 und 94.
- Peter M., Iten R. 2001: Ökonomische Branchenstudie der Wald- und Holzwirtschaft. Umwelt-Materialien Nr. 138, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Pöhler Rotach E., Seubert Hunziker H. 2002: Skriptum Holzkunde II – Holzchemie ETH Zürich.
- Quetting M., Mehlich C., Wiegand J. 1998: Studie über den Endverbrauch des Holzes in der Schweiz im Jahre 1996. Planconsult, Basel.
- Quetting M., Wiegand J., Sell J. 1999: Tiefenerhebung zu Entscheidungsmotiven und zum Image von Holz im Hochbau in der Schweiz. Forschungs- und Arbeitsberichte 115/40, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf.
- SBV 1997: Baumarkt Schweiz, Entwicklungsperspektive 1996–2010. Schweizerischer Baumeister Verband, Zürich.
- Schweizer S. (Hrsg.) 2006: Forstkalender 2007, Verlag Huber Frauenfeld/Stuttgart/Wien
- SIA 1995: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. SIA-Dokumentation D 0123, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich.
- Thürig E. 2005a: Carbon budget of Swiss forests: evaluation and application of empirical models for assessing future management impacts. Diss. ETH No. 15872, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich.
- Thürig E., Palosuo T., Bucher J., Kaufmann E. 2005b: The impact of windthrow on carbon sequestration in Switzerland: a model-based assessment, *Forest Ecology and Management* 210, 337–350.
- Thürig E., Schmid S., Kaufmann E. 2007: Jährliche CO₂ Flüsse im Wald: Berechnungsmethode für das Kyoto-Protokoll. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. eingereicht.
- Thürig E., Schmid S., Kaufmann E., Bugmann H. 2005: Treibhausgas Inventar: Waldkennzahlen und jährlicher Klimaeinfluss. Interner Bericht BAFU.
- UNFCCC/TP 2003: FCCC/TP/2003/7: Estimation, reporting and accounting of harvested wood products, <http://UNFCCC.int/resource/docs/tp/tp0307.pdf>
- Vhe (Ed.) 1997: Vademecum Holzenergie. Zürich, Verband Holzenergie Schweiz (VHe).
- Werner F. 2006: Modellbeschreibung für die Berechnung klimarelevanter Lager- und Substitutionseffekte verschiedener Holzverwendungsszenarien im Zivilisationskreislauf im Fürstentum Liechtenstein (unveröffentlicht). Dr. F. Werner, Umwelt und Entwicklung, Zürich.
- Werner F., Richter K. 2005a: Klimarelevante Lager- und Substitutionseffekte verschiedener Holzverwendungsszenarien in der Schweiz; Teilbericht des CO₂-Projektes Folgestudie Nr. 6. Dr. F. Werner, Umwelt & Entwicklung (unveröffentlicht), Zürich.
- Werner F., Richter K. 2005b: Treibhauseffekte der Substitution der Brennstoffe Heizöl und Erdgas durch Holz, Arbeitspapier verfasst im Auftrag des BUWAL. Dr. F. Werner, Umwelt & Entwicklung, Zürich.
- Werner F., Richter K. 2007: Wooden building products in comparative LCA; a literature review. *International Journal for Life Cycle Assessment*. 12(7): 470-479.
- Werner F., Taverna R., Hofer P., Richter K. 2006: Greenhouse gas dynamics of an increased use of wood in buildings in Switzerland. *Climatic Change*, 71(1–3): 319–347.
- Wiegand J., Quetting M. 1999a: Ergebnisse im Hochbau; Untersuchung über Entscheidungsmotive und Kenntnisse zu Holz. *SAH bulletin CSRB*, 31999: 13–29.
- Wiegand J., Quetting M. 1999b: Ergebnisse im übrigen Bauwesen und im Bereich Möbel; Untersuchung über Entscheidungsmotive und Kenntnisse zu Holz. *SAH bulletin CSRB*, 31999: 30–35.

Wüest H., Schweizer M., Rey U., Zgorgelsky I. 1994: Basisdaten und Perspektiven zur Entwicklung des Gebäudeparkes 1990–2030. Studie im Auftrage des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.

ZPK 2003: Verband der Schweizerischen Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie, Jahresbericht 2002. Verband der Schweizerischen Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie (ZPK), Zürich.