



Schätzung der Senkenleistung des Schweizer Waldes für die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls 2008 - 2012

Les forêts puits de carbones Estimation de la prestation pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto de 2008 à 2012

Inhaltsverzeichnis	1
Zusammenfassung	2
Résumé	3
1 Einleitung	4
2 Einfluss der klima- und umweltbedingten Faktoren auf die Kohlenstoffsinkenleistung	4
2.1 Einfluss des Sturmes auf die Kohlenstoffsinkenleistung	4
2.2 Einfluss des Borkenkäfers auf die Kohlenstoffsinkenleistung.....	5
3 Nutzungsentwicklung im Schweizer Wald bis 2013	7
3.1 Einflüsse auf die quantitative Entwicklung der Holzernte	7
3.2 Nutzungsszenarien und Herleitung des wahrscheinlichsten Entwicklungskorridors	8
4 Zusammenfassende Einflüsse auf die Kohlenstoffsinkenleistung	10
4.1 Folgerung	13
5 Referenzen	14

Schätzung der Senkenleistung des Schweizer Waldes für die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls 2008 - 2012

Laut den ersten beiden Landesforstinventaren (LFI 1 1986 und LFI 2 1995) und dem daraus abgeleiteten Treibhausgasinventar 2006¹ hat der Schweizer Wald in den Jahren 1990 bis 2006 im Durchschnitt 2.7 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr gebunden, weil wesentlich weniger Holz geerntet wurde oder abstarb als nachgewachsen ist. In diesem Kontext hat das Parlament entschieden, Senken zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls anzurechnen, sofern diese nicht im Widerspruch zu andern politischen Zielen stehen (Motion UREK N, 03.3012). Seither hat sich das Umfeld für die Waldwirtschaft verändert: Steigende Energiepreise, eine gute konjunkturelle Lage und die Wahrnehmung von Holz als erneuerbare, CO₂-neutrale Ressource haben die Nachfrage nach diesem Rohstoff ansteigen lassen. Zusätzlich zeigen erste LFI 3 Resultate, dass die Abgänge seit 1995 generell höher sind als zwischen 1986 und 1995. Somit liegen die Senkenabschätzungen der ersten LFI 3 Resultate von 1996-2006 mit durchschnittlich 1.5 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr deutlich unter den bisherigen Extrapolationen der LFI 2 Daten. Die Senkenleistung in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (2008-2012) ist stark abhängig von den jährlichen Abgängen, d. h. von der Holznutzung und der Mortalität der Bäume, beispielsweise infolge von Sturm- und Borkenkäferschäden.

Die Abteilung Wald hat den Auftrag, eine qualifizierte Schätzung der zu erwartenden Senkenleistung in Abhängigkeit von Holznutzung / Mortalität in den Jahren 2008 – 2012 zu erstellen. Dabei soll die wahrscheinlichste Entwicklung mit einer Streuung nach oben und unten definiert werden.

Als Haupteinflussfaktoren einer Veränderung der Senkenleistung sind *klima- und umweltbedingte Faktoren* (Sturm und Borkenkäfer) sowie *anthropogene Faktoren* (in erster Linie die quantitative Entwicklung der Holzernte) zu berücksichtigen.

Der Einfluss klima- und umweltbedingter Faktoren – wie Sturm und Borkenkäfer – wurde anhand eines Risikoanalyse-Ansatzes quantifiziert. Für jedes Ereignis wurden die Eintrittswahrscheinlichkeit und die zu erwartende Schadensmenge bestimmt. Die Multiplikation der Wahrscheinlichkeit mit der Schadensmenge ergibt den wahrscheinlichsten Einfluss dieses Ereignisses auf die Senkenleistung.

Der Einfluss der Holzernte bzw. deren Entwicklung wurde mittels Trend- und Branchenanalysen, Prognosen zur sektoriellen Nachfrageentwicklung der Industrievertreter, Prognosen der Vertreter der Waldwirtschaft und einer Umfrage bei der Kantonsoberförsterkonferenz eingeschätzt. Die Beschreibung der Methoden, Vorgehensweise und Resultate sind in diesem Bericht zu finden.

Die Resultate der *klima- und umweltbedingten Risikoanalyse* ergeben eine Streuungsbreite von 2.1 Mio. T CO₂. Die Einschätzung der *Nutzungsentwicklung* resultiert in einer geschätzten Nutzungsmenge im Jahr 2013 von 7.3 - 7.6 Mio. Kubikmeter². Verglichen mit der durchschnittlichen Nutzung der Jahre 1996-2006 entspricht dies einer Zunahme von 8-20%.

Zusammenfassend zeigt die Analyse folgende Effekte auf die Kohlenstoffsinkleistung des Waldes:

1. Aufgrund der in den nächsten Jahren mit grosser Wahrscheinlichkeit ansteigende Holznutzung wird die durchschnittliche Senkenleistung der Jahre 2008 - 2012 auf 0.3-0.7 Mio. T CO₂ pro Jahr geschätzt.
2. Die klima- und umweltbedingten Einflüsse können die durchschnittliche erwartete Senkenleistung von 0.3-0.7 Mio. T CO₂ pro Jahr in eine CO₂-Quelle umwandeln.

¹ Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2006. www.climatereporting.ch

² Geerntete Derbholzmenge inkl. Schlagabraum und Holzernteverluste

Les forêts puits de carbones

Estimation de la prestation pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto de 2008 à 2012

Les deux premiers inventaires forestiers nationaux (IFN 1 1986 et IFN 2 1995) et l'inventaire des émissions de gaz à effets de serre (2006)³ font ressortir que les forêts suisses ont absorbé 2,7 millions de tonnes de CO₂ par an en moyenne, entre 1990 et 2006, parce que la croissance du bois a été bien moindre que la récolte et le dépérissement. C'est dans ce contexte que le Parlement a décidé de prendre en compte les puits de carbone aux fins de remplir les engagements du Protocole de Kyoto, pour autant que cela ne contre pas d'autres objectifs politiques (Motion CEATE CN, 03.3012). Depuis, la situation de l'économie forestière a changé. En effet, les prix croissants de l'énergie, la bonne conjoncture et la prise en considération du bois comme ressource renouvelable présentant un bilan de CO₂ neutre ont contribué à augmenter la demande en bois en tant que matière première. De plus, les premiers résultats de l'IFN 3 indiquent que la diminution du volume de bois (exploitation et mortalité) est généralement plus importante depuis 1995 qu'entre 1986 et 1995. Les estimations d'absorption de CO₂ présentées dans les premiers résultats de l'IFN 3 (1,5 tonne de CO₂ par an de 1996 à 2006) se situent donc nettement en dessous des extrapolations basées sur les données de l'IFN 2. L'effet de puits de carbone obtenu au cours de la première période d'engagement du Protocole de Kyoto (2008 à 2012) est étroitement lié à la diminution annuelle du volume de bois, par exemple suite à des dégâts de tempête ou de bostryches.

La division Forêts a pour mandat d'estimer l'effet de puits de carbone entre 2008 et 2012 en tenant compte de la mortalité et de l'exploitation du bois afin de définir le développement le plus probable (avec variabilité vers le haut et vers le bas).

Les principaux facteurs qui influencent l'évolution de l'effet de puits de carbone sont, d'une part, d'ordre climatique et environnemental (tempêtes et attaques de bostryches) et, d'autre part, d'ordre anthropique (principalement les quantités de bois récolté).

L'influence des facteurs climatiques et environnementaux – comme les tempêtes et les bostryches – a été quantifiée en suivant une approche fondée sur l'analyse des risques. La probabilité d'occurrence et les dégâts potentiels ont été déterminés pour chaque événement. L'influence la plus probable d'un événement sur la prestation environnementale est obtenue en multipliant la probabilité d'occurrence avec la quantité de dégâts déterminée.

L'influence de la récolte du bois, plus précisément du développement de la récolte, a été estimée au moyen d'analyses des tendances et des branches, de prévisions de l'évolution par secteur de la demande émanant de l'industrie, de prévisions de représentants de l'économie forestière et d'une enquête au sein de la Conférence des inspecteurs cantonaux des forêts. Le rapport décrit les méthodes et les marches à suivre et présente les résultats.

Les résultats de l'analyse des risques climatiques et environnementaux ont une limite d'acceptation de 2,1 millions de tonnes de CO₂. Selon les estimations, l'évolution de l'exploitation aboutira à une exploitation de 7,3 à 7,6 millions de mètres cube en 2013⁴, ce qui correspond à une augmentation de 8 à 20 % par rapport à l'exploitation moyenne entre 1996 et 2006.

En résumé, voici les impacts sur l'effet de puits de carbone des forêts, tel qu'ils ressortent des analyses:

1. Compte tenu de l'augmentation très probable de l'exploitation du bois ces prochaines années, les forêts absorberont entre 0,3 à 0,7 millions de tonnes de CO₂ en moyenne par an, de 2008 à 2012.
2. La forêt, dont on attend une réduction de CO₂ entre 0,3 à 0,7 tonnes en moyenne par an, peut se transformer en source de CO₂ selon les influences climatiques et environnementales.

³ Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2006. www.climatereporting.ch

⁴ Quantité de bois fort récolté, y compris déchets de coupe et pertes

1 Einleitung

Für das Treibhausgasinventar und das Kyoto Protokoll werden jährliche CO₂-Bilanzen im Wald benötigt. Diese Bilanzen berechnen sich aus der Differenz des jährlichen Brutto-Zuwachs und der jährlichen Abgänge. Dabei gilt folgende Beziehung:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{-Bilanz}_J &= \text{Brutto-Zuwachs}_J - \text{Abgänge}_J \\ &= \text{Brutto-Zuwachs}_J - (\text{Mortalität}_J + \text{Nutzung}_J) \end{aligned} \quad (1)$$

wobei J die einzelnen Jahre bezeichnet. Eine positive CO₂-Bilanz bedeutet eine Kohlenstoffsenke, eine negative Bilanz eine Kohlenstoffquelle.

Die Schätzung des Brutto-Zuwachses wurden mittels erster LFI 3 Resultate gemacht. Die Schätzung von 9.5 Mio. m³ pro Jahr (bzw. 11.9 Mio. T CO₂) wird für die nächsten 5 Jahre konstant gelassen, da (1) der Einfluss veränderter Nutzungsmengen auf die Senkenleistung als viel grösser eingestuft wird, (2) der Einfluss der Klimaänderungen nur zu kleinen kurzfristigen Änderung des Zuwachses führen und (3) Auswirkungen veränderter Waldbewirtschaftungen auf den Zuwachs nur mit grossem Aufwand abgeschätzt werden können.

Die Abgänge wurden auch anhand der LFI 3 Daten auf 8.6 Mio. m³ oder 10.4 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr geschätzt.

Diese Schätzung ist aber kurzfristig sensitiv gegenüber Änderungen von

1. *klima- und umweltbedingter Faktoren*, wie
 - Sturm, und
 - Borkenkäfer, und
2. *der Nutzung durch den Menschen (Holzernte)*, die ihrerseits von einer Vielzahl von wirtschaftlichen und soziopolitischen Faktoren abhängt.

2 Einfluss der klima- und umweltbedingten Faktoren auf die Kohlenstoffsinkenleistung

2.1 Einfluss des Sturmes auf die Kohlenstoffsinkenleistung

Um den Einfluss der klima- und umweltbedingten Faktoren auf die Mortalität zu quantifizieren wurde ein **Risikoanalyse-Ansatz** gewählt. Für jedes Ereignis wurden die Eintrittswahrscheinlichkeit und die zu erwartende Schadensmenge bestimmt. Die Multiplikation der Wahrscheinlichkeit mit der Schadensmenge ergibt dann das Risiko des Einflusses des Ereignisses auf die Senkenleistung.

Orkanartige Stürme können erhebliche Schäden im Wald verursachen. Der Vergleich mit früheren Orkanen in der Schweiz zeigt, dass Lothar zwar ein extrem starkes Ereignis war, durchaus aber im Bereich des zu Erwartenden liegt.

Die Wiederkehrdauer der Windgeschwindigkeiten der Sturmereignisse, wie Lothar und Vivian, wurde aus einer Gumbelstatistik herausgelesen und liegt bei etwa zwölf bzw. 20 Jahren (WSL und BUWAL, 2001, S.47). Dies entspricht einer ungefähren jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit von Windstärken der Grösse von

Lothar von 0.08

Vivian von 0.05.

Hier ist zu beachten, dass messtechnisch nur die horizontale Komponente der Windgeschwindigkeit erfasst wird. Die vor allem für die Intensität der Böigkeit bedeutungsvolle vertikale Komponente ist nicht bekannt. Dazu kommt, dass mögliche Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Häufigkeit von extremen Stürmen wegen der schlechten Datengrundlage nicht quantifizierbar sind. Eine generelle Tendenz zu häufigeren und stärkeren Stürmen wird oft dargelegt, kann aber derzeit statistisch nicht nachgewiesen werden.

Die Schadensmenge hängt von der Windgeschwindigkeit des Ereignisses ab. Der Orkan Lothar hat nach Angaben der Kantone rund 13.8 Mio. m³ Holz geworfen (BUWAL, 2004, S.5). Dies entspricht drei regulären Jahresnutzungen. Im Sturm Vivian fiel 5.5 Mio. m³ (BUWAL, 2004, S.5), was rund einer jährlichen Nutzung zu normalen Zeiten entspricht. Da Windstürme oft das Herzstück des Holzes betrifft, entspricht das Windwurfholz qualitativ meist nicht demjenigen regulärer Holzschläge. Die aktuellen Berichte erlauben aber keine Unterscheidung zwischen Windwurfholz und regulärer Jahresnutzung nach Forststatistik. Es wird hier deshalb angenommen, dass 50% der Nutzung in Sturmjahren aus Windwurfholz stammt. Das heisst, die Nutzungsmengen, welche durch normale Holzschläge anfallen, sind in Sturmjahren nicht 4.5 Mio. m³, sondern nur 2.25 Mio. m³. Dadurch lassen sich die durch den Sturm verursachten Schadensmengen mit der regulären Nutzung um folgende Mengen kompensieren.

Lothar 11.5 Mio. m³ Holz pro Jahr (13.8 Mio. m³ Holz (BUWAL, 2004, S.5) - 2.25 Mio. m³ (WSL und BUWAL, 2001, S.64)), und für

Vivian 3.25 Mio. m³ pro Jahr (5.5 Mio. m³ (BUWAL, 2004, S.5) - 2.25 Mio. m³ (BUWAL, 1994, S. 7)).

In Tabelle 1 wird die Sturmwirkung auf die C-Senkenleistung (R) nach dem Risikoanalyse-Ansatz berechnet:

$$R = p \times A, \tag{2}$$

wobei p die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit ist und A das Schadenspotential.

Tabelle 1: Sturmwirkung auf die C-Senkenleistung [- m³/Jahr]	
Vivian	Lothar
163'000	920'000

2.2 Einfluss des Borkenkäfers auf die Kohlenstoffsenkenleistung

Der Einfluss von Borkenkäferschäden auf die C-Senkenleistung wird hier nur im Zusammenhang mit Stürmen berechnet, da klimabedingte Borkenkäferschäden im Vergleich bisher vernachlässigbar sind (pers. Kommunikation, B. Wermelinger, WSL, 15.04.2008)

Auch hier wurde einen Risikoanalyse-Ansatz gewählt (siehe Gleichung 2), wobei die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses dem der Stürme entspricht.

Die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit für Borkenkäferschäden entspricht beim

Lothar: 0.08

Vivian: 0.05.

Das Ausmass des Schadens wurde aus den Zwangsnutzungsdaten herausgelesen (BAFU, 2008, S.23). Nach einem Sturm treten Borkenkäferschäden nicht nur im Folgejahr auf, sondern verursachen Zwangsnutzungen auf mehrere Jahre hinaus. Um diese zeitliche Verzögerung des Schadens zu berücksichtigen, wurde das Ausmass des Schadens nicht nur aus den Zwangsnutzungsdaten des

Folgejahres herausgelesen, sondern als Summe der auf den Sturm folgenden drei Jahren. Daraus ergeben sich folgende Schadensmengen:

Lothar um 4.5 Mio. m³ summiert über die Jahre 2000 bis 2002.

Vivian um 1.2 Mio. m³ summiert über die Jahre 1991 bis 1993.

In Tabelle 2 wird die Borkenkäferwirkung auf die C-Senkenleistung zusammengefasst.

Vivian	Lothar
60'000	360'000

Der Einfluss der klima- und umweltbedingten Faktoren auf die Kohlenstoffsinkenleistung ergibt sich aus der Summation der erwarteten Risiken unter den betrachteten Stürmen - Vivian und Lothar (Tabelle 3). Die berechneten Werte wurden nach der Methode von Thürig und Schmid (2008) in Menge CO₂ in der gesamten Biomasse umgerechnet.

$$\begin{aligned} \text{Tonne CO}_2 \text{ der gesamten Biomasse} = & \text{ m}^3 \text{ Schaffholz in Rinde und Stock} \\ & * \text{ Holzdichte} * \text{ Biomasse-Expansionsfaktor} \\ & * \text{ C-Gehalt} * 3.67 \end{aligned} \quad (3)$$

Da der Einfluss der klima- und umweltbedingten Faktoren auf die Senkenleistung national und nicht regional berechnet wurde, mussten für die Umrechnung in CO₂ folgende Durchschnittswerte angenommen werden: Holzdichte 0.5 [Tonne/m³], Biomasse-Expansionsfaktor 1.5 [Schaffholz in Rinde und Stock / gesamte Biomasse] und C-Gehalt 0.5. Die Umrechnung von C in CO₂ geschieht durch Multiplikation mit 3.67, was dem Verhältnis des Molekulargewichtes von C und CO₂ entspricht.

	Vivian [- m ³ /Jahr]	Lothar [- m ³ /Jahr]	Summe [- m ³ /Jahr]	Summe [- T CO ₂ /Jahr]
Sturm und Borkenkäfer	223'000	1'280'000	1'500'000	2'060'000

3 Nutzungsentwicklung im Schweizer Wald bis 2013

3.1 Einflüsse auf die quantitative Entwicklung der Holzernte

Vorbemerkung

Die Senkenleistung des Waldes wird massgebend durch die menschliche Holznutzung beeinflusst. (Unter Holznutzung wird in dieser Studie die geerntete Derbholzmenge inklusiv Schlagabraum und Holzernteverluste verstanden.) Die Senkenleistung von durchschnittlich 2.7 Mio. Tonnen CO₂ in den Jahren 1990 bis 2006 beruhte darauf, dass wesentlich weniger Holz geerntet wurde als nachgewachsen ist. Ausgelöst durch die zunehmende Holznachfrage steigt der Holzpreis in der Schweiz, was eine erhöhte Holznutzung ermöglicht. Die anziehende Nachfrage nach dem erneuerbaren Rohstoff und die zukünftige Entwicklung der Holznutzung stellen die Grösse der Senkenwirkung des Schweizer Waldes in Frage.

Prognosen für die Entwicklung der Holzernte sind mit grossen Unsicherheiten verbunden, da diese von einem komplexen Wechselspiel einer Vielzahl von Faktoren bestimmt wird. Die Wirkungszusammenhänge sind selten linear. Ereignisse wirken sich zum Teil erst mit einer gewissen Verzögerung aus, was die Voraussage des zeitlichen Eintretens von Reaktionen erschwert.

Wichtige Einflussfaktoren auf die mengenmässige Entwicklung der Holzernte:

- *Die Holznachfrage und Holzpreisentwicklung*, die ihrerseits von *wirtschaftlichen Faktoren* abhängen (s. unten)
- *Soziale Faktoren* wie die gesellschaftliche Wahrnehmung der wirtschaftlichen Holzernte und die Präferenzen bzw. Nutzungsbereitschaft der Waldeigentümer
- *Technologische, wirtschaftliche und strukturelle Faktoren* wie Holzerntetechniken und –kosten, vertikale/horizontale Integration bzw. betriebsübergreifende Zusammenarbeit in der Waldwirtschaft, Optimierung logistischer Abläufe
- *Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen*: z.B. Festlegung des Hiebsatzes und die Subventionspolitik von Bund und Kantonen

Die inländische Holzernte wird einerseits durch die **Holznachfrage des Marktes** und andererseits durch das **Angebotsverhalten der Waldeigentümer** bestimmt. Bei stärkerer Holznachfrage bzw. einer Nachfrage, die grösser als das Angebot ist, steigen die Preise. Dies führt die öffentlichen und privaten Waldbesitzer zwar dazu, den Wald verstärkt zu nutzen. Da das Angebot (Holzernte) aufgrund von verschiedenen Faktoren (s.o.) weniger elastisch als die Nachfrage reagiert, entwickelt sie sich nicht mit vergleichbaren Steigerungsraten.

Die **Holznachfrage** wird sowohl durch die inländische Marktdynamik als auch durch die ausländische Nachfrage gesteuert, welche nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können. Die Holzernte nimmt nicht zwingend ab, wenn sich die inländische Nachfrage (vorübergehend) abschwächt, da der offene, internationale Holzmarkt lokale Marktschwankungen über den Handel ausgleicht. Andererseits kann eine Frankenaufwertung oder eine Erhöhung der Transportkosten, die die Exporte von Rohholz und Holzprodukten verteuern, sich dämpfend auf die inländische Holzindustrie und deren Nachfrage nach Rohholz auswirken.

Die für die Holznachfrage **wichtigsten wirtschaftlichen Faktoren** sind:

- Allgemeine Wirtschaftslage der Schweiz und der EU - der für die Schweiz wichtigste Wirtschaftsraum
- Baumarkt (Neubau und Renovationen): Dieser Sektor ist für die Holznachfrage sehr wichtig. Die Auftragslage der Holzwirtschaft entwickelt sich parallel zur Konjunktur des gesamten Baugewerbes. Die Hochkonjunktur in der Bauwirtschaft hat ihren Höhepunkt 2006 erreicht und tendiert 2008 seitwärts. Die Auftragslage wird aber gerade im Renovationssektor voraussichtlich gut bleiben.

- Währungsentwicklung, welche den Aussenhandel beeinflusst
- Lage des Arbeitsmarktes, von welcher der private Konsum abhängt.
- Entwicklungen auf dem Energiemarkt: die steigenden Energie- und Ölpreise im Speziellen wirken sich positiv auf das Holzpreisniveau aus. Die steigenden Energiepreise beeinflussen die Holznachfrage nicht nur direkt über die verstärkte Nachfrage nach Holz als nachhaltige Substitution für fossile Energieträger, sondern auch über die verstärkte Nachfrage nach Holz als Substitution für energieintensivere Produkte im Bauwesen. Der Minergie-Standard fördert die Verwendung von Holzwerkstoffen mit ausgezeichneten Dämmqualitäten.
- Kapazitätsentwicklung für die stoffliche Verarbeitung von Holz im In- und Ausland
- Kapazitätsentwicklung für die energetische Verwendung von Holz im In- und Ausland.
- Internationale Holznachfrage ausgehend von Weltkonjunktur und globalem Bevölkerungswachstum: Der weltweite Holzverbrauch im Bau- und Möbelbereich und in der Produktion von Holz- und Zellstoff steigen stark. V.a. die an Holz armen Länder China und Indien sowie der Nahe Osten werden längerfristig Nachfragerückgänge aus anderen Regionen (wie z.B. aktuell in Nordamerika ausgelöst durch die Hypothekar- und Immobilienkrise) ausgleichen.

Der Holzpreis wird zudem nicht nur durch wirtschaftliche Faktoren beeinflusst, sondern sehr stark durch **klima- und umweltbedingte Faktoren**, in erster Linie durch Sturmereignisse im In- und benachbarten Ausland, die den Holzmarkt innert Kürze mit grossen Mengen von Kalamitätsholz übersorgen.

Seit den 1980er Jahren war der Schweizer Holzpreis auf Talfahrt. Nach dem Sturm Lothar im 1999 sackte das Preisniveau ab. Seit 2005 hat sich die Tendenz gekehrt. Der Rundholzmarkt erlebt einen Aufschwung und das Niveau der Holzpreise steigt. Der Kontext hat sich geändert.

3.2 Nutzungsszenarien und Herleitung des wahrscheinlichsten Entwicklungskorridors

Für die Prognosen bis 2013 mussten sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren in die Überlegungen einbezogen werden. Für die Herleitung der verschiedenen Szenarien wurden deshalb unterschiedliche **Vorgehensweisen** gewählt:

- Trendanalysen für die verschiedenen Holzsortimente: Trendmässige Fortführung der vergangenen Sortimentsnutzungen mit unterschiedlicher Gewichtung der Steigerungsraten verschiedener Perioden
- Sektorielle Prognosen für die Holznachfrage basierend auf Einschätzungen der Industrie und deren Vertreter bezüglich Kapazitätserweiterungen.⁵ Daraus abgeleitet wurden:
- Verschiedene Szenarien für die inländische Kapazitätserweiterung, v.a. in der Sägeindustrie und im Energiebereich. Alle Szenarien wurden nach Holzsortimenten analysiert und daraus auf die Gesamtmenge geschlossen.
- Separate Szenarien basierend auf Einschätzungen der Vertreter der Waldwirtschaft⁶ und der kantonalen Forstdienste (Kantonsoberförster-Konferenz, KOK)⁷

Die verschiedenen Szenarien wurden gewichtet und zu einem **Entwicklungskorridor** verdichtet. Dabei wurde aufgrund der Marktprognosen und den Experteneinschätzungen von folgenden allgemeinen **Annahmen** ausgegangen:

- Der globale Trend der Holznachfrage für die energetischen und stofflichen Anwendungsbereiche zeigt nach oben.
- Inländische Kapazitäten im Bereich der stofflichen und energetischen Verwertung werden in den kommenden Jahren erweitert.
- Der Aufschwung im Rundholzmarkt mag zwischenzeitliche Dämpfer erleiden, die Erholung wird sich aber durch einen tendenziellen Nachfrageüberhang schneller einstellen als in der

⁵ - Mitteilung zu den Holzbedarfsprognosen bis 2013 von der IG Industrieholz (W. Riegger, 08.04.2008);

- Mitteilung vom Verband Holzindustrie Schweiz HIS zu Holznutzung und Holzbedarf (H.R. Streiff, 07.04.2008);

⁶ Mitteilung zur Holznutzungs-Prognose bis 2013 vom Waldwirtschaftverband Schweiz (H. Gerber, 14.04.2008)

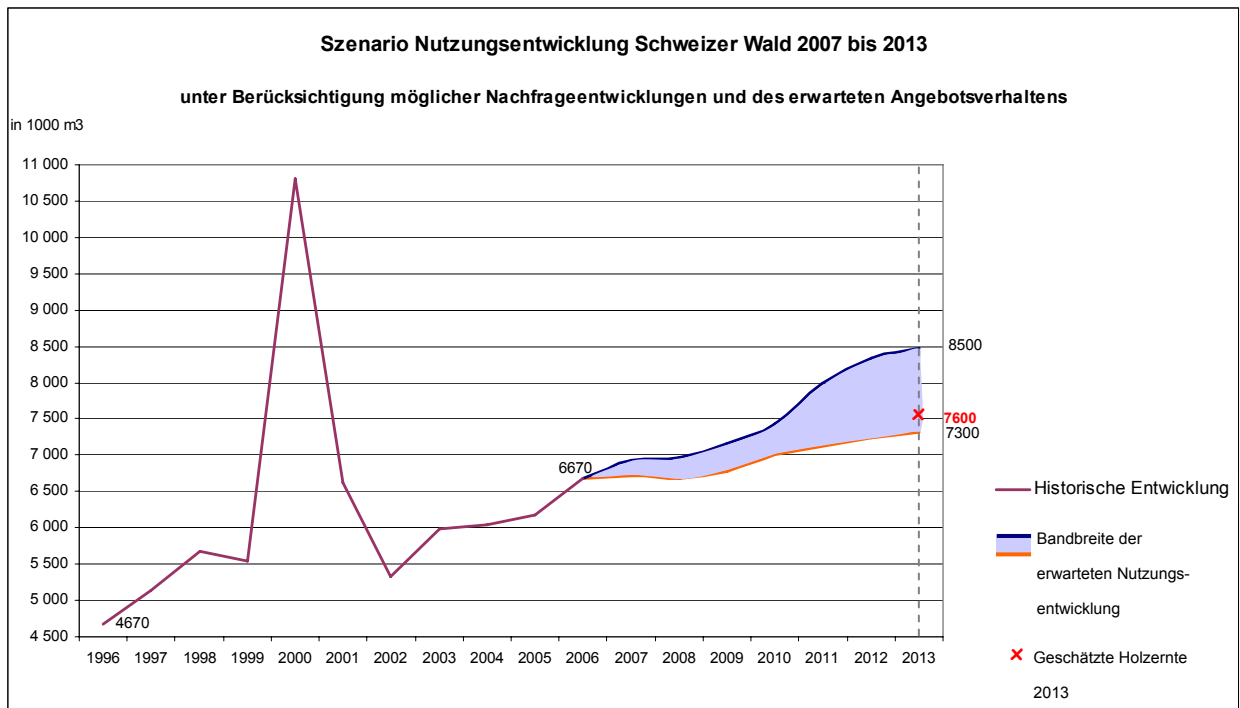
⁷ Umfrage anlässlich der Versammlung der Kantonsoberförster-Konferenz KOK vom 17. und 18.04.2008

Vergangenheit. Rückschläge auf den Holzpreise wegen Windwürfen wie nach *Kyrill* (Anfang 2007) oder nach *Paula* und *Emma* (Anfang 2008) wird es vermutlich vermehrt geben. Die Preisvolatilität nimmt zu, mittel- und langfristig steigen die Preise für den Rohstoff Holz jedoch weiter an.

- Die effektive Nutzung entwickelt sich nicht parallel zu den Kapazitätserweiterungen bzw. dem Bedarf der Holzverarbeiter und steigert sich schwächer als die erwartete Holznachfrage.

Die hergeleitete **Bandbreite der wahrscheinlichsten Nutzungsentwicklung** bildet *Tendenzen ohne kurzzeitliche Schwankungen* ab. *Zwangsnutzungen sind nicht berücksichtigt*.

Unter den gemachten Annahmen reicht die Bandbreite von 7.3 Mio. m³ bis 8.5 Mio. m³. Bei der Festlegung der geschätzten Holzermenge 2013 hatte die Einschätzung der KOK massgebenden Einfluss. Die Expertenmeinung der KOK liegt mit 7.6 Mio. m³ Nutzung im Jahr 2013 im unteren Bereich der Bandbreite. Untenstehende Grafik illustriert den hergeleiteten Entwicklungskorridor.



Historische Entwicklung der Holzermenge: Forststatistik zuzüglich 17% für Holzermengeverluste, nicht anzeichnungspflichtige Freimenge im Privatwald etc. (Schätzung basiert auf Abgleich mit LFI2)

Abb. 1

Basis der Trendanalysen und Ausgangspunkt des Szenarios für die Nutzungsentwicklung:

Die Trendanalysen der historischen Steigerungsraten, die Abbildung der historischen Entwicklung und der Ausgangspunkt des Szenarios im 2006 basieren auf der Schweizerischen Forststatistik. In Abgleich mit dem 2. Landesforstinventar wurde die Menge eingeschätzt, die durch die Holzermenge entnommen aber durch die Forststatistik nicht ausgewiesen werden. Diese umfasst z.B. Holzermengeverlust und nicht anzeichnungspflichtige Freimenge im Privatwald. Der Abgleich führt zu einem pauschalen Korrekturfaktor von +17% (Ergänzung um Holzermengeverluste und nicht anzeichnungspflichtige Freimengen im Privatwald).⁸

⁸ s. WSL/BUWAL (1999), S. 258 ff.

4 Zusammenfassende Einflüsse auf die Kohlenstoffsenkenleistung

Die totale Kohlenstoffsenkenleistung berechnet sich aus der Differenz des jährlichen Brutto-Zuwachses und der jährlichen Abgänge (siehe Gleichung 1). Erste LFI 3 Zahlen zeigen, dass die jährlichen Senkenleistungen der Jahre 1996-2006 bei ungefähr 1.5 Mio. T CO₂ pro Jahr lagen (siehe Tabellen 4b und 5b). Für die Schätzung der Senkenleistungen der Jahre 2008-2012 müssen die zukünftigen Entwicklungen von Zuwachs und Abgang berücksichtigt werden.

Die Schätzungen des Brutto-Zuwachses wurden anhand erster LFI 3 Resultate gemacht (Tabelle 4a). Die LFI Zahlen beinhalten „Schaffholz in Rinde und Stock“ und wurden mittels Gleichung 3 in Tonnen Kohlendioxid umgerechnet. Im Unterschied zur Umrechnung des Windwurfholzes in Kapitel 2 wurden sowohl baumarten- und regionen-spezifische Biomasse-Expansionsfaktoren wie auch baumartenspezifische Holzdichten verwendet (siehe Thürig und Schmid 2008). Aufsummiert über alle Baumarten und Regionen ergibt dies einen jährlichen Brutto-Zuwachs von 9.5 Mio. m³ Schaffholz in Rinde. Umgerechnet in Tonnen Kohlendioxid ergibt dies einen jährlichen Zuwachs von 11.95 Mio. T CO₂ (Tabelle 4b).

Tabelle 4a: Jährlicher Bruttozuwachs mit Einwuchs nach Höhe und Hauptbaumart in m³ Schaffholz in Rinde und Stock⁹

Auswertungseinheit: gemeinsam zugänglicher Wald ohne Gebüschwald

Einheit: m³ Schaffholz in Rinde und Stock pro Jahr

Netz: gemeinsam terrestrisch LFI 2-LFI 3

		Aussageeinheit					
		Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Südalpen	Schweiz
Höhe	Hauptbaumart	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J
<600	Total Nadelhölzer	192'188	1'007'211	40'223	30'739	1'363	1'271'727
<600	Total Laubhölzer	274'908	750'188	47'736	39'509	100'304	1'212'644
601-1200	Total Nadelhölzer	615'935	726'163	1'237'485	459'411	36'968	3'075'964
601-1200	Total Laubhölzer	450'615	406'393	468'047	255'959	252'276	1'833'291
>1200	Total Nadelhölzer	88'907	1'351	464'252	1'135'224	199'109	1'888'844
>1200	Total Laubhölzer	26'219	2'726	34'506	62'315	66'455	192'220
Total		1'648'772	2'894'032	2'292'249	1'983'157	656'475	9'474'690

Tabelle 4b: Jährlicher Bruttozuwachs mit Einwuchs nach Höhe und Hauptbaumart in Tonnen CO₂⁶

Auswertungseinheit: gemeinsam zugänglicher Wald ohne Gebüschwald

Einheit: Tonnen CO₂ pro Jahr

Netz: gemeinsam terrestrisch LFI 2-LFI 3

		Aussageeinheit					
		Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Südalpen	Schweiz
Höhe	Hauptbaumart	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J
<600	Total Nadelhölzer	207'367	1'079'368	43'695	32'264	1'541	1'364'235
<600	Total Laubhölzer	416'176	1'165'976	71'785	61'805	166'020	1'881'762
601-1200	Total Nadelhölzer	678'144	783'515	1'344'305	502'439	41'787	3'350'191
601-1200	Total Laubhölzer	682'175	635'736	703'841	402'990	425'198	2'849'939
>1200	Total Nadelhölzer	104'412	1'636	541'810	1'308'209	235'295	2'191'363
>1200	Total Laubhölzer	41'015	4'264	54'327	101'884	114'019	315'510
Total		2'129'290	3'670'495	2'759'762	2'409'592	983'860	11'953'000

Die im LFI 3 gemessenen Abgänge beinhalten die durchschnittlichen jährlichen Mengen an Nutzung und Mortalität der Jahre 1996 bis 2006 und sind in Tabelle 5a als m³ Schaffholz in Rinde und Stock

⁹ LFI Zahlen aus Faktenblatt zur Medienmitteilung vom 09.11.07 von WSL und BAFU, stratifiziert für die Höhenstufen. Definitive Zahlen werden noch leicht ändern.

dargestellt. Tabelle 5b zeigt die gleichen Werte umgerechnet in Tonnen CO₂ (Gleichung 3, Thürig und Schmid 2008).

Tabelle 5a: Jährliche Abgänge an Nutzung und Mortalität nach Höhe und Hauptbaumart in m³ Schaffholz in Rinde und Stock⁹

Auswertungseinheit: gemeinsam zugänglicher Wald ohne Gebüschwald

Einheit: m³ Schaffholz in Rinde und Stock pro Jahr

Netz: gemeinsam terrestrisch LFI 2-LFI 3

		Aussageeinheit					
Höhe	Hauptbaumart	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Südalpen	Schweiz
		m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J	m ³ /J
<600	Total Nadelhölzer	250'257	1'507'517	40'065	24'355	517	1'822'710
<600	Total Laubhölzer	341'078	616'605	30'339	20'091	49'751	1'057'865
601-1200	Total Nadelhölzer	558'105	1'061'785	1'446'937	307'415	9'727	3'383'968
601-1200	Total Laubhölzer	294'212	271'905	238'560	104'608	55'750	965'036
>1200	Total Nadelhölzer	54'533	9'331	445'860	778'425	60'641	1'348'790
>1200	Total Laubhölzer	15'354	1'133	8'907	19'023	9'830	54'246
Total		1'513'539	3'468'276	2'210'668	1'253'917	186'216	8'632'615

Tabelle 5b: Jährliche Abgänge an Nutzung und Mortalität nach Höhe und Hauptbaumart in Tonnen CO₂⁹

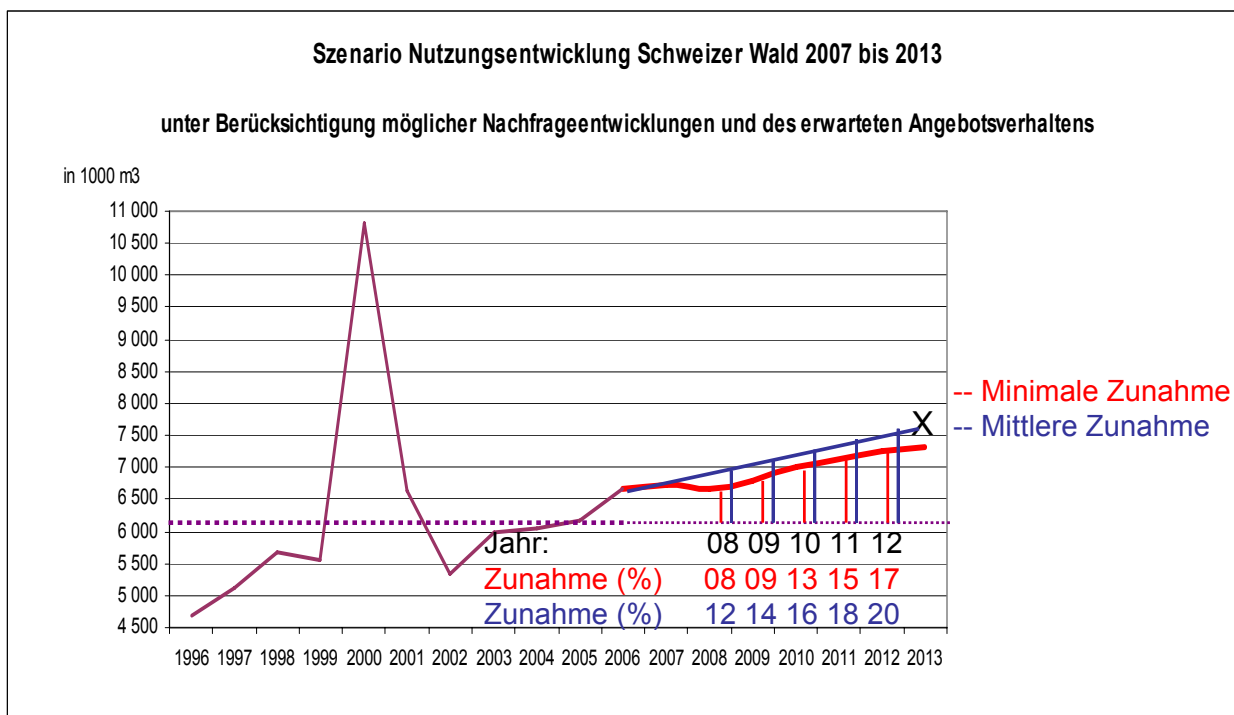
Auswertungseinheit: gemeinsam zugänglicher Wald ohne Gebüschwald

Einheit: Tonnen CO₂ pro Jahr

Netz: gemeinsam terrestrisch LFI 2-LFI 3

		Aussageeinheit					
Höhe	Hauptbaumart	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Südalpen	Schweiz
		T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J	T CO ₂ / J
<600	Total Nadelhölzer	270'022	1'615'516	43'523	25'563	584	1'955'209
<600	Total Laubhölzer	516'349	958'355	45'623	31'429	82'346	1'634'103
601-1200	Total Nadelhölzer	614'474	1'145'645	1'571'837	336'207	10'995	3'679'157
601-1200	Total Laubhölzer	445'400	425'351	358'742	164'698	93'964	1'488'155
>1200	Total Nadelhölzer	64'044	11'301	520'345	897'041	71'662	1'564'393
>1200	Total Laubhölzer	24'019	1'772	14'023	31'102	16'866	87'783
Total		1'934'308	4'157'940	2'554'094	1'486'042	276'417	10'408'801

Da eine Senkenberechnung alle Abgänge berücksichtigen muss, das heisst, nebst den offiziellen Nutzungen auch die gesamte Mortalität, können die Abgänge nicht rein auf Basis der Forststatistik oder der geschätzten Nutzungsentwicklung berechnet werden, sondern nur in Kombination mit den im LFI 3 zwischen 1996 und 2006 gemessenen totalen Abgängen. Zusätzlich lassen sich die Erntefestmeter der Forststatistik nicht direkt mit den Kubikmeter Angaben des LFI vergleichen, weil unterschiedliche Baumteile berücksichtigt wurden. Aus der in der vorliegenden Studie geschätzten Trendentwicklung der Nutzung (Kap. 2.2.2, Abb. 1) wird deshalb berechnet, um wie viel die durchschnittliche Nutzung der Periode 1996-2006 (Abb. 2, violett gestrichelte Linie) in den Jahren 2008-2012 ansteigen könnte. Aufgrund der aktuellen Marktsituation (Stand Herbst 2008) gehen wir davon aus, dass die Nutzungsentwicklung sich eher am unteren Rand der Abschätzung bewegen wird. Somit sind bei der Senkenberechnung nur die minimale und die mittlere (lineare Interpolation zwischen der Nutzungsmenge 2006 und der Nutzungsmenge X im Jahr 2013 in Abbildung 1) Nutzungsentwicklung berücksichtigt. Abbildung 2 zeigt die minimale Nutzungsentwicklung (rot) und die mittlere Nutzungsentwicklung (schwarz) und die Entsprechende prozentuale Zunahme für die Jahre 2008 bis 2012. Die so berechnete prozentuale Zunahme wird verwendet, um die gemessenen Abgänge im LFI 3 für die Jahre 2008 bis 2012 fortzuschreiben.



Historische Entwicklung der Holzernte 1996-2006 und geschätzte Nutzungsentwicklung 2006-2013. Violett: Forststatistik zuzüglich 17% für Holzernteverluste, nicht anzeichnungspflichtige Freimenge im Privatwald etc. (Schätzung basiert auf Abgleich mit LFI 2). Geschätzte mittlere (blau) und minimale (rot) Entwicklung der Nutzungsmengen. Die Prozentzahlen bezeichnen den jeweiligen Anstieg der geschätzten jährlichen Nutzungsmengen 2008-2012 verglichen mit dem Durchschnittswert der Jahre 1996-2006 (violett).

Abb. 2

Wegen der Mortalität und Unterschieden in den Sortimenten sind die im LFI 3 gemessenen Abgänge höher als die Forststatistik Nutzungen für den gleichen Zeitraum. Das LFI 3 weist für die Periode 1996-2006 einen durchschnittlichen jährlichen Abgang von 8.633 Mio. m³/Jahr aus. Die jährlichen Nutzungen der Forststatistik für den gleichen Zeitraum, erhöht um Holzernteverluste und nicht anzeichnungspflichtige Freimenge im Privatwald, betragen 6.199 Mio. m³/Jahr, also nur 72% der im LFI gemessenen Abgänge. Da sich die Sortimentsunterschiede in Zukunft wahrscheinlich nicht verändern werden, und die Mortalität hier als konstant angenommen wird (eine Steigerung der Mortalität wird separat in der klima- und umweltbedingten Risikoanalyse auf S. 3-5 abgeschätzt), wenden wir die prozentuale Nutzungssteigerung nur auf 72% der im LFI 3 gemessenen Abgänge an. Die Entwicklung der Abgänge berechnet sich demnach folgendermassen.

$$\text{Jährliche Abgänge}_J = (\text{jährliche Abgänge LFI 3} + \% \text{ Mehrnutzung}_J) * 0.72 + \text{jährliche Abgänge LFI 3} * 0.28 \quad (4)$$

Wobei J die Jahre 2006 bis 2012 bezeichnet und die prozentuale Mehrnutzung in den Tabellen 6a und 6b abgebildet sind. Die so berechneten Senkeneffekte der nächsten Jahre bei einer minimalen Nutzungssteigerung ist in Tabelle 6a festgehalten, und bei einer mittleren Nutzungssteigerung in Tabelle 6b.

Tabelle 6a: Jährlicher Senkeneffekt 2006-2012 bei minimaler Nutzungssteigerung

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Zuwachs (Mio. T CO₂)	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95
% Mehrnutzung (Abb. 2)	8%	9%	8%	9%	13%	15%	17%
Jährliche Abgänge (Mio. T CO₂)	10.98	11.05	10.99	11.11	11.39	11.52	11.67
CO₂ Bilanz (Mio. T CO₂)	0.97	0.91	0.96	0.85	0.56	0.43	0.28

Tabelle 6b: Jährlicher Senkeneffekt 2006-2012 bei mittlerer Nutzungssteigerung

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Zuwachs (Mio. T CO₂)	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95
% Mehrnutzung (Abb. 2)	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
Jährliche Abgänge (Mio. T CO₂)	10.98	11.14	11.30	11.46	11.62	11.78	11.94
CO₂ Bilanz (Mio. T CO₂)	0.97	0.81	0.65	0.49	0.33	0.17	0.01

Gemittelt über die für das Kyoto Protokoll relevanten Jahre 2008 bis 2012 ergibt dies bei einer **minimalen Nutzungssteigerung** eine jährliche Senkenleistung von **0.62 Mio. T CO₂ pro Jahr** und bei einer **mittleren Nutzungssteigerung** eine jährliche Senkenleistung von **0.33 Mio. T CO₂ pro Jahr**. Wir schätzen die durchschnittliche jährliche Senkenleistung der Jahre 2008-2012 deshalb auf **0.3 - 0.7 Mio. T CO₂ pro Jahr**.

Die klima- und umweltbedingte Risikoanalyse schätzt die zusätzliche mögliche Erhöhung der jährlichen Mortalität auf 2.1 Mio. T CO₂ (Tabelle 3). Eine solche Steigerung der Mortalität könnte die durchschnittliche geschätzte Senkenleistung in den Jahren 2008-2012 von **0.3 - 0.7 Mio. T CO₂ pro Jahr** in eine Kohlenstoffquelle verwandeln.

4.1 Folgerung

Obenstehende Herleitung zeigt, dass (1) die in den nächsten Jahren mit grosser Wahrscheinlichkeit ansteigende Holznutzung die **durchschnittliche Senkenleistung in den Jahren 2008-2012** vom durchschnittlichen Wert der Jahre 1996-2006 (1.5 Mio. T CO₂ pro Jahr) auf **0.3 – 0.7 Mio. T CO₂ / Jahr** verringern wird und (2) die klima- und umweltbedingten Einflüsse das Senkenpotential von 0.3 - 0.7 Mio. T CO₂ pro Jahr in eine CO₂-Quelle umwandeln könnten.

5 Referenzen

BAFU, 2008. Jahrbuch Wald und Holz 2007, Umwelt-Wissen Nr. 0807, Bundesamt für Umwelt, Bern, 175 S.

Brassel, P, und Brändli, UB, Editoren, 1999. Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.

Bundesamt für Statistik (BFS), 2006. Holznutzung und Beiträge Dritter in der Schweiz. www.agr.bfs.admin.ch.

BUWAL, 1994. Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald, Umwelt-Wissen Nr. 0218, Bundesamt für Umwelt, Bern, 41 S.

BUWAL, 2004. Lothar – Rechenschaftsbericht, Materielle und finanzielle Bilanz 2000 – 2003, Bundesamt für Umwelt, Bern, 34 S.

Credit Suisse, 2007. Swiss Issues Branchen. Branchenhandbuch 2008. Strukturen und Perspektiven. 41 S.

FAO/UNECE, 2008. Wood resources availability and demands II – future wood flows in the forest and energy sector. European countries in 2010 and 2020, 22 S.

Thürig, E, und Schmid, S. 2008. Jährliche CO₂-Flüsse im Wald: Berechnungsmethode für das Treibhausgasinventar. Schweiz. Z. Forstwes. 159 (2): 31–38.

UBS, 2008. UBS outlook. Konjunkturanalyse 1. Quartal 2008. Spezial Branchenspiegel. 56 S.

UBS, 2008. UBS outlook. Konjunkturanalyse 2. Quartal. 31 S.

WSL und BUWAL, 2001. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse, Birmensdorf, Bern, WSL. BUWAL, 365 S.

WSL und BUWAL, 1999. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995; 442 S.



Entwicklung der Schweizer Holzernte bis 2013

CO₂-Substitutionseffekt durch Energieholz

Eine Ergänzung zur Studie
Schätzung der Senkenleistung des Schweizer Waldes
für die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls 2008 – 2012 (Mai 2008)

Oben erwähnte Studie zieht im Hinblick auf die Erfüllung der Verpflichtung in der ersten Kyoto Protokoll-Periode (KPP) eine Folgefrage nach: In welchem Ausmass ersetzt die Zunahme der Holznutzung fossile Energieträger?

1. Betrachtungsgegenstand

Wie viel mehr Holz fliesst 2013 im Vergleich zu 2006 aus dem Schweizer Wald in die Energie? Davon abgeleitet: Wieviel mehr Holz fliesst während der KPP 08 – 12 aus dem Wald in die Energie?

2. Betrachtungsumfang

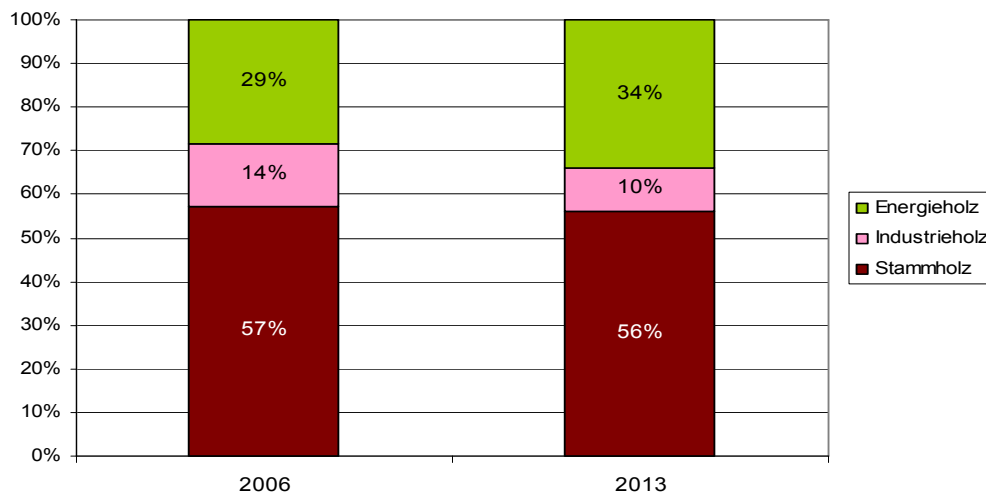
- Anteil der *Erntezunahme* im Schweizer Wald (2006 – 2013), die der *energetischen Verwendung* zugeführt wird und andere (fossile) Energieträger substituiert.
- Direkter energetischer Substitutionseffekt im Inland

Nicht betrachtet werden hier:

- Ausländische Substitutionseffekte; z.B. die Vermeidung der Bereitstellung für fossile Energieträger
- Effekte der stofflichen Substitution

3. Entwicklung der Holzernte und deren Verwendungsbestimmung

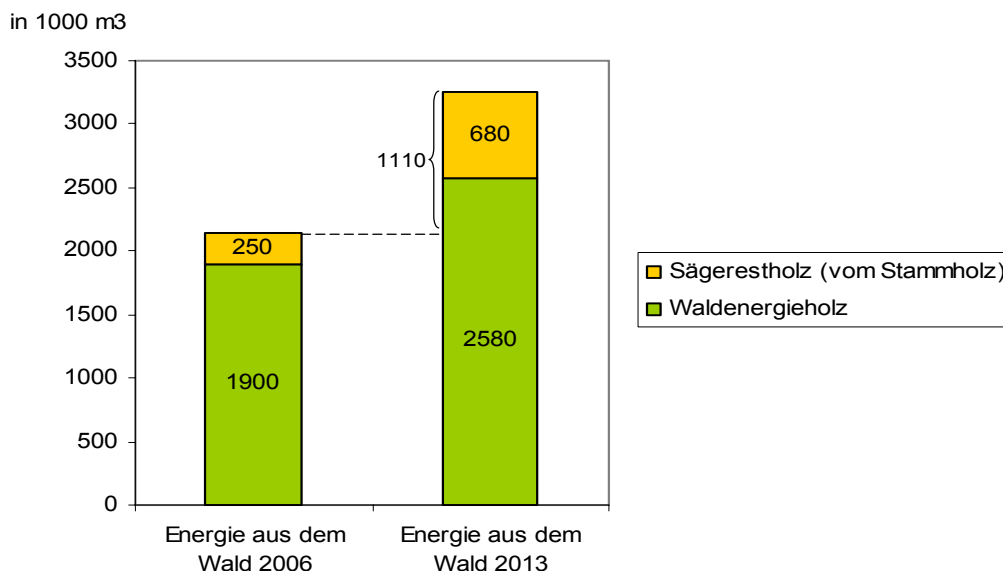
Verwendungsbestimmung Holzernte 2006 und 2013



3 Effekte führen zu erhöhten Holzmengen für energetische Zwecke:

- Zunahme Wald-Energieholz (Stückholz und Hackschnitzel)
- Durch verstärkte Holzverarbeitung im Inland fällt mehr Säge-Restholz an. (ca. 40% des Einschnitts)
- Der Anteil des Säge-Restholzes, der als Energieträger dient, erhöht sich in den kommenden Jahren

Wieviel Energie kommt aus dem Wald? 2006 und 2013



Grafik 2

Obenstehende Grafik illustriert, dass durch die Nutzungszunahme zwischen 2006 und 2013 schätzungsweise 1.11 Mio. Kubikmeter mehr Holz für energetische Zwecke verwendet werden. Zur Herleitung der für energetische Zwecke verfügbaren Mehrmengen von Holz während der KPP (08-12) wird im Folgenden zur Vereinfachung linear interpoliert.

4. CO₂-Einsparung

Durchschnittlich werden in der Periode 06-13 jährlich 0.16 Mio. m³ mehr in der Schweiz geerntetes Holz in Energie umgewandelt. Für die KPP bedeutet dies im Schnitt eine jährliche Mehrmenge an Energieholz in der Grössenordnung von 0.63 Mio. m³.

Für die Abschätzung des Substitutionseffekts der energetischen Holzverwertung wird von einer CO₂-Einsparung von 600 kg CO₂-Equivalenten pro m³ Holz ausgegangen.¹ Über die Jahre 2008-2012 resultiert so im Mittel eine Einsparung von 0.38 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr.

5. Fazit

Unter der Annahme, dass die gesamte Mehrernte, die für energetische Zwecke gebraucht wird, fossile Energieträger substituiert, ...

... bewirkt die Zunahme der Holzernte während der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls 2008 bis 2012 im Mittel eine jährliche Einsparung von knapp 0.4 Mio. Tonnen CO₂.

¹ 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.