

FTBNr.:

## Potenzial und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz: Beitrag des deutschen Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz

WFW09-006

von Michael Köhl<sup>1</sup>, Arno Frühwald<sup>2</sup>, Bernhard Kenter<sup>1</sup>, Konstantin Olschofsky<sup>1</sup>, Raul Köhler<sup>1</sup>, Margret Köthke<sup>1</sup>, Sebastian Rüter<sup>2</sup>, Hans Pretzsch<sup>3</sup>, Thomas Rötzer<sup>3</sup>, Franz Makeschin<sup>4</sup>, Mengistu Abiy<sup>4</sup> und Matthias Dieter<sup>5</sup>

*Der vorliegende Beitrag stellt erste Ergebnisse des BMBF Projektes „Potenzial und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz“ vor (Förderkennzeichen BMBF 0330546). Anhand repräsentativer Modellbestände und komplexer Modellierungsansätze wurde die CO<sub>2</sub>-Senken- und Quellenwirkung bei unterschiedlich intensiven Nutzungseingriffen sowie dem Nutzungsverzicht für den Forst- und Holzsektor in Deutschland hergeleitet. Als Holzverwendung wird im Folgenden hypothetisch eine rein energetische Nutzung des geernteten Holzes unterstellt und auf die Berücksichtigung der Speicherleistung und des Substitutionspotenzials von Holzprodukten verzichtet. Diese konservative Betrachtungsweise schöpft nicht das volle klimarelevante Potenzial von Holzprodukten aus. Dennoch kann bereits damit gezeigt werden, dass bereits durch die Holzproduktion und die energetische Holzverwendung eine bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz erreicht wird, als bei einer Erhöhung des C-Speichers im Wald durch Nutzungsverzicht.*

### 1 Politische Entwicklung zum Klimawandel

In den letzten 15 bis 20 Jahren wurde die globale Klimaerwärmung zu einem der meist diskutierten Probleme der Gesellschaft. Der Weltklimarat (IPCC) hat in mehreren Berichten dokumentiert, dass sich die Klimaerwärmung zu einem realen Phänomen mit dem Potenzial ernsthafter Konsequenzen für die Umwelt und menschliche Gesellschaften entwickelt hat. So können deren Folgen beispielsweise Veränderungen in der Verfügbarkeit

von Wasser, das Auftauen von Permafrostböden, das Abschmelzen von Gletschern, steigende Meeresspiegel, eine Verschlechterung der landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen oder Veränderungen der Verbreitungsgebiete von Tieren und Pflanzen bewirken.

Trotz der Unsicherheiten bei funktionalen Beziehungen und Wirkungsketten zwischen der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre und dem Temperaturanstieg wurden auf der politischen Ebene eine Reihe nationaler, regionaler und internationaler Programme und Vereinbarungen initiiert, von denen die Klimarahmenkonvention und das Kyoto-Protokoll die bekanntesten sind. Zu Beginn der internationalen politischen Verhandlungen stand die Vermeidung der exzessiven Freisetzung von Treibhausgasen – namentlich CO<sub>2</sub> durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern – im Vordergrund. Später wurde auch die Bindung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch Kohlenstoffsinken als Möglichkeit zur Reduktion der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration in die Klimarahmenkonvention und das Kyoto-Protokoll aufgenommen.

Die Bindung von CO<sub>2</sub> durch Senken wird als Kohlenstoffsequestrierung bezeichnet und führt zu Reservoirs, die Kohlenstoff für eine unbestimmte Periode anreichern und speichern können. Das Kyoto-Protokoll unterstützt die Verwendung von Senken als eine Form des Kohlenstoffausgleichs und eröffnet Ländern die Möglichkeit, ihre nationalen Minderungsziele zum Teil durch die Aktivierung von C-Senken über die natürlichen Speicherraten hinaus zu erreichen. Unter den vom Kyoto-Protokoll anerkannten Minderungsoptionen sind „die Bindung durch Senken, die aus direkt vom Menschen initiierten Landnutzungsänderungen und forstliche Aktivitäten – begrenzt auf Aufforstungen, Wiederbewaldung und Entwaldung seit 1990 – resultieren“ sowie ergänzende Maßnahmen im Landnutzungssektor aufgeführt, die bei bestehenden Wäldern anwendbar sind, falls die Nutzungs- oder Störungsrate kleiner ist als der Zuwachs (UN 1998). Da verhindert werden sollte, dass Länder ihre Minderungsziele allein durch die Mobilisierung von Senken erreichen und natürliche Prozesse wie Stickstoffeinträge oder Altersklasseneffekte

<sup>1</sup> Prof. Dr. Michael Köhl ist Leiter und Dr. Bernhard Kenter, MSc. forest, Konstantin Olschofsky, Dipl.-Forstw. Raul Köhler und Dipl.-Ing. Margret Köthke sind Mitarbeiter des Instituts für Weltforstwirtschaft, Universität Hamburg, Hamburg.

<sup>2</sup> Prof. Dr. Arno Frühwald ist Leiter und Dipl.-Ing. silv. Sebastian Rüter ist Mitarbeiter des Instituts für Holztechnologie und Holzbiologie, Universität Hamburg, Hamburg.

<sup>3</sup> Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch ist Leiter und Dr. Thomas Rötzer ist Mitarbeiter des Lehrstuhls für Waldwachstum, Technische Universität München, Freising.

<sup>4</sup> Prof. Dr. Franz Makeschin ist Leiter und Dr. Mengistu Abiy ist Mitarbeiter des Instituts für Bodenkunde und Standortlehre, Technische Universität Dresden, Tharandt.

<sup>5</sup> Dr. Matthias Dieter ist Leiter des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft (OEF), Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Hamburg.

bei der Anrechnung ausgeschlossen sind, wurden in den 2001 beschlossenen Vereinbarungen von Marrakesch (sog. Marakesh-Accords) nationale Obergrenzen für die Anrechenbarkeit von Senken festgeschrieben.

Im Zuge der vielfältigen Verhandlungen und Beschlüsse zum Modus der Berechnung von Quellen und Senken in nationalen Treibhausgasinventaren haben sich die entsprechenden Regelwerke – namentlich die Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (UN-IPCC 2006) – zu komplexen, nicht mehr intuitiv verständlichen Handlungsanweisungen entwickelt. Sie enthalten eine Vielzahl von Anrechnungsoptionen, Ausnahmeregelungen oder Standardwerten. In einigen Fällen mögen die Konsequenzen sinnvoll sein. So können zum Beispiel für Forstplantagen, die primär zur Holzherstellung dienen, aufgrund des Gebots der Nicht-Additivität keine CO<sub>2</sub>-Zertifikate generiert werden. Kritisch zu bewerten ist allerdings, dass die Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre, Quellen und Senken nicht vollständig abgebildet werden. Dies führt dazu, dass im Kyoto-Protokoll die Systemgrenzen des Waldes am Waldrand enden und damit die Holznutzung einer CO<sub>2</sub>-Emission gleichgesetzt wird. Als Konsequenz dieser Unzulänglichkeit wurde wiederholt die Erhöhung des C-Speichers von Wäldern durch Verlängerung der Umtriebszeiten und den Verzicht auf Holznutzung gefordert. Auch bei der Diskussion zum Nutzungsverzicht im Rahmen der nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt wird die Erhöhung der Biomasse und damit des C-Speichers in Wäldern als positiver Beitrag zum Klimaschutz herausgestellt (BfN 2008).

Im Folgenden wird anhand von Kohlenstoffbilanzen untersucht, welche klimarelevanten Auswirkungen der Nutzungsverzicht im Vergleich mit traditionellen Konzepten der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung hat.

## 2 CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial durch Holzverwendung

In einem Kubikmeter Holz sind rund 250 kg Kohlenstoff – oder 920 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente – gebunden, der während des Baumwachstums als CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt wurde. In Naturwäldern, in denen ökologische Prozesse ohne menschliche Störungen ablaufen können, befindet sich die Bildung von Biomasse und deren Zerfall in einem langfristigen Gleichgewicht. Somit werden die 920 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente, die in jedem Kubikmeter Holz gebunden sind, durch Abbauprozesse über kurz oder lang wieder freigesetzt (KÖHL ET AL. 2008).

Fraglich ist allerdings zu welchen Anteilen eine Freisetzung in die Atmosphäre und ein Übergang in den Kohlenstoffspeicher des Bodens erfolgen. Die Fähigkeit der Böden Kohlenstoff zu speichern wird besonders vor dem Hintergrund einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre kontrovers diskutiert. Während einige Untersuchungen von einer Erhöhung der organischen Bodensubstanzen und damit Kohlenstoffspeicherung berichten, beobachten andere keine Veränderungen oder sogar Verluste – also Kohlenstofffreisetzung (ARMSTRONG 2008). SCHLESINGER und LICHTER (2001) stellten nach Messungen von Bodenkohlenstoffgehalten in *Pinus taeda* Beständen hohe Umsetzungsraten des organischen Kohlenstoffs in der Streuschicht und das Fehlen einer Kohlenstoffakkumulation im Mineralboden fest. Sie schließen daraus, dass eine signifikante, langfristige Netto-Kohlenstoffspeicherung in Böden unwahrscheinlich ist. BELLAMY ET AL. (2005) werteten die Daten des National Soil Inventory von England und Wales aus, die zwischen 1978 und 2003 erhoben wurden. Sie berichten von einer mittleren jährlichen Freisetzung von 0,6 Prozent des bestehenden Bodenkohlenstoffgehalts, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die Kohlenstoffabsorption durch terrestrische Senken aufwiegt. Wird Holz direkt energetisch genutzt, erfolgt eine Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs in die Atmosphäre. Die in einem Kubikmeter Holz gespeicherten 920 kg CO<sub>2</sub> führen zusammen mit den für die Aufarbeitung und den Transport von Holz anfallenden CO<sub>2</sub>-Äquivalenten – etwa 27 kg – zu einer Emission von 947 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und erzeugen rund 2.500 kWh Energie. Zur Erzeugung der gleichen Energie müsste man alternativ 250 l Erdöl einsetzen, was zu einer Freisetzung von rund 700 kg CO<sub>2</sub> führt. Holz hat somit zwar einen höheren CO<sub>2</sub> Ausstoß, jedoch wird bei der Verbrennung von Holz kein zusätzlicher bzw. fossiler Kohlenstoff der Atmosphäre zugeführt wie bei der Verbrennung von Heizöl. Berücksichtigt man diese Tatsache, führt die Verbrennung von Holz statt Heizöl zu einer Substitution von rund 675 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kubikmeter Holz.

Noch deutlicher ausgeprägt ist der Substitutionseffekt, wenn der energetischen Nutzung eine stoffliche Nutzung von Holz vorangeht. Mit Hilfe der Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) können die Umweltauswirkungen verschiedener Produktsysteme analysiert und objektiv miteinander verglichen werden. Neben Emissionen in Luft, Wasser und Boden, die während der Lebensdauer von Produkten entstehen, quantifiziert die Lebenszyklusanalyse auch den Energieaufwand, der bei Rohstoffgewinnung, Verarbeitung, Transport, Verwendung und Ent-

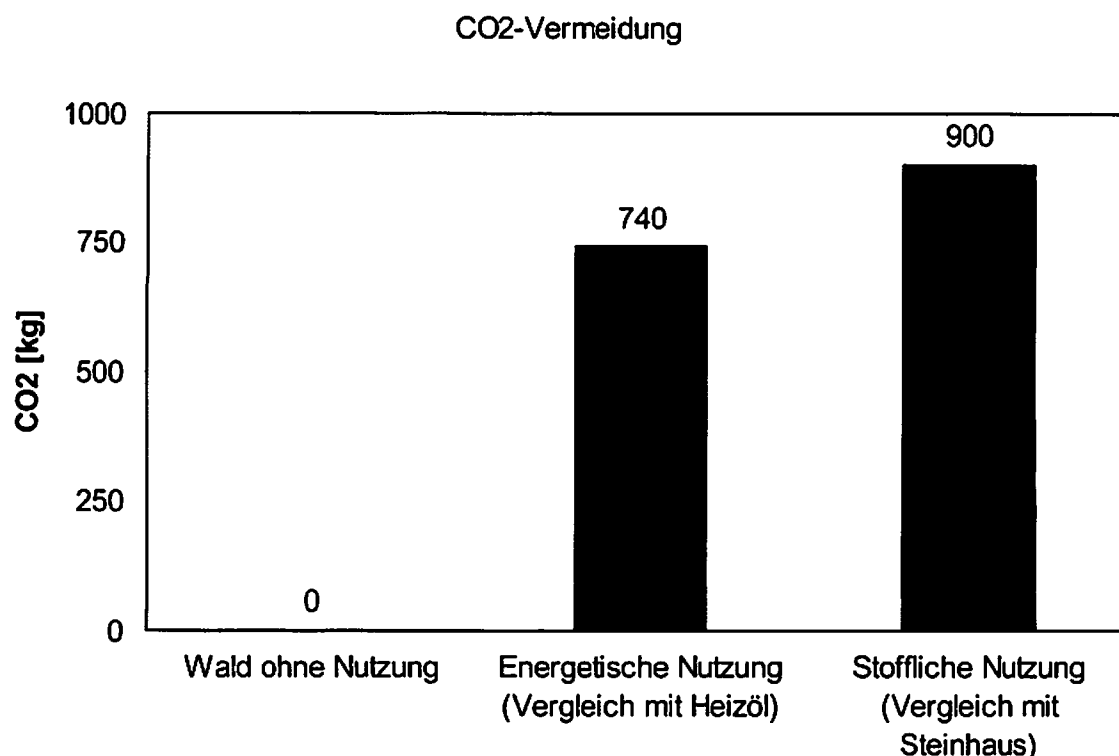


Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial durch energetische und stoffliche Nutzung von Holz (bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Holz)

sorgung der Produkte anfällt (FRÜHWALD, SOLBERG 1995; ALBRECHT ET AL. 2008). Als Beispiel seien hier die Arbeiten von SCHARAI-RAD und WELLING (2002) angeführt, die den Einfluss verschiedener Konstruktionstypen und Baustoffbestandteile im mitteleuropäischen Hausbau auf die Umweltwirkungen mit Hilfe der Lebenszyklusanalyse untersuchten (Abbildung 1). Sie zeigen, dass bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 80 Jahren ein Holzhaus, das vorwiegend aus Holz und Holzwerkstoffen und einem sehr geringen Anteil an mineralischen Werkstoffen besteht, im Vergleich zu einem überwiegend aus mineralischen Materialien gebauten Massivhaus einen um rund 50% geringeren Nettoenergieverbrauch während des gesamten Lebenszyklus erfordert. Bezogen auf einen Kubikmeter Holz lassen sich durch die Holzbauweise rund 900 kg CO<sub>2</sub> (Abbildung 1) einsparen (SCHARAI-RAD, WELLING 2002).

### 3 Potenzial der C-Speicherung in Wald und Holz

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts<sup>6</sup> wurden die Dynamik und das Potenzial der C-Speicherung in Wald und Holz für den deutschen Forst- und Holzsektor untersucht.

Dazu wurden auf der Basis der Bundeswaldinventur (BWI) Modellbestände entwickelt, die die Altersklassenstruktur, die Mischungsanteile der Baumarten, die Vorratsstruktur und die Standortverhältnisse der deutschen Wälder abbilden. Da die Modellbestände etwa 97% der Wälder Deutschlands repräsentieren, sind die Aussagen auf ganz Deutschland übertragbar.

Umfangreiche Datensätze u. a. zu Klimaentwicklung (WETTREG<sup>7</sup>), Standort (BÜK<sup>8</sup>) und Wald (BWI<sup>9</sup>) wurden mit den Modellen BALANCE bzw. SILVA (PRETZSCH 2001; RÖTZER ET AL. 2008) zur Prognose des Waldwachstums, der Biomasseproduktion und der C-Speicherung und mit dem Modell mCENTURY zur Simulation des C-Umsatzes im Boden kombiniert, um anhand der Modellbestände die Auswirkung verschiedener Bewirtschaftungsszenarien und Klimaentwicklungen auf die Bindung und Freisetzung von Kohlenstoff für den Zeitraum von 2000 bis 2030 zu untersuchen. In

<sup>6</sup> <http://www.cswh.worldforestry.de>

<sup>7</sup> <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/WettReg/wettreg.html>

<sup>8</sup> [http://www.bgr.bund.de/cln\\_092/nn\\_325414/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUK\\_1000\\_N.html](http://www.bgr.bund.de/cln_092/nn_325414/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUK_1000_N.html)

<sup>9</sup> <http://www.bundeswaldinventur.de>

der Modellierung wurden die vier Kohlenstoffpools lebende Biomasse, Totholz, Bodenkohlenstoff und Spreu berücksichtigt.

In umfangreichen Simulationsläufen wurden für jeden Bestand die Entwicklungen des Kohlenstoffspeichers unter vier verschiedenen Bewirtschaftungsoptionen quantifiziert:

- **Gewinnmaximierung:** Ziel der Waldbewirtschaftung ist die Maximierung des Gewinns, die durch hohe Einschlagsraten und eine starke Ausrichtung auf Fichten realisiert wird.
- **Waldreinertrag:** Kriterium der Bewirtschaftung ist ein möglichst hoher jährlicher Reinertrag aus dem Wald; eine Verzinsung des im Wald gebundenen Kapitals wird nicht vorgenommen.
- **Zielstärkennutzung:** Bäume werden genutzt, sobald sie einen Zieldurchmesser erreichen, wodurch näherungsweise das Einschlagsverhalten der naturnahen Waldwirtschaft abgebildet wird.
- **Nullnutzung:** Hier erfolgt ein genereller Nutzungsverzicht.

Bei allen Bewirtschaftungsoptionen verbleibt Totholz im Wald. Im Gegensatz zur Nullnutzung fällt bei den Optionen mit Holznutzung kaum stehendes Totholz an, dafür aber größere Mengen an liegendem Totholz in Form von Ernteverlusten.

Die gegenwärtigen Regelungen des Kyoto-Protokolls legen den Nutzungsverzicht und damit das Auffüllen des Kohlenstoffspeichers von Wäldern nahe. Da im relativ kurzen Prognosezeitraum von 30 Jahren ein Nutzungsverzicht noch nicht zu naturwaldähnlichen Zuständen mit einem Gleichgewicht von Biomasseauf- und -abbau führen wird, ist bei dieser Option eine ausgeprägte Zunahme des C-Pools zu beobachten. Die Simulationen zeigten, dass unter Nutzungsverzicht innerhalb der nächsten 30 Jahre im Durchschnitt eine C-Zunahme von rund 225 Tonnen C pro Hektar zu erwarten wäre (Abbildung 2). Die drei Handlungsoptionen mit Nutzung führen zu deutlich geringeren Kohlenstoffanreicherungen im Wald. Eine Bewirtschaftung unter dem Gesichtspunkt der Gewinnmaximierung wird aufgrund der hohen Nutzungsraten zur geringsten C-Anreicherung führen (durchschnittlich rund 110 t C/ha). Die Zielstärkennutzung, die sich auf Bäume mit hohem Volumen und damit Kohlenstoffgehalt konzentriert, liegt mit rund 123 t C/ha etwas über der C-Anreicherung

des Szenarios Gewinnmaximierung. Durch eine an die Waldreinertragsmaximierung angelehnte Bewirtschaftungsoption wird mit 144 t C/ha die höchste Kohlenstoffanreicherung unter den drei Varianten mit Holznutzung erzielt.

Durch die Holznutzung wurden im 30-jährigen Beobachtungszeitraum bei der Bewirtschaftungsoption Gewinnmaximierung 123 t C/ha, der Waldreinertragsmaximierung 41 t C/ha und bei der Zielstärkennutzung 59 t C/ha entnommen. Der Nutzungsverzicht führte somit zum stärksten Biomassewachstum und damit zur höchsten Speicherleistung. Diese Beobachtung kann allerdings nicht verallgemeinert werden, da sie nur für die aktuelle Baumartenverteilung und den Altersklassenaufbau im deutschen Wald gilt. Unter diesen Verhältnissen nimmt der Totholzanteil kontinuierlich zu und zeitverzögert auch die Freisetzungsraten von Kohlenstoff durch den Abbau von Totholz. Simulationsläufe für Beobachtungszeiträume über 50 Jahre zeigten, dass in Beständen unter Nutzungsverzicht die anfängliche Phase des Vorratsaufbaus von einem Gleichgewichtszustand abgelöst wird. In diesem Gleichgewichtszustand wird – wie auch bei Naturwäldern zu beobachten ist – der Biomasseaufbau durch den Biomasseabbau aufgewogen; Wälder sind dann nur noch Kohlenstoffspeicher und binden abgesehen von kleinen, periodischen Schwankungen mittelfristig kein zusätzliches CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Im Gegensatz hierzu bleibt auch bei bewirtschafteten Wäldern sowohl die Speicher- als auch die Bindungswirkung über die Zeit erhalten.

Der Ökosystemansatz, der Kohlenstoffflüsse nur innerhalb der Waldgrenzen betrachtet, würde den Nutzungsverzicht und die damit einhergehende Vorrats- und Kohlenstoffanreicherung in Wäldern als Klimaschutzoption favorisieren. Diese Sichtweise führt zwangsläufig zu einem unvollständigen Bild, da die Speicher- und Substitutionseffekte durch die stoffliche und energetische Nutzung von Holz außer Acht gelassen werden. Die Entwicklung sinnvoller Klimaschutzstrategien ist nur bei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise möglich. Neben der gesamten Kette der Kohlenstoffdynamik von der Bindung durch biologische Wachstumsprozesse über die Speicherung in langlebigen Holzprodukten bis zur Freisetzung ist auch die Reduzierung der Emissionen durch die Substitution fossiler Energieträger und energieaufwändiger Werkstoffe und Produktionsprozesse zu berücksichtigen.

## Speicherleistung zwischen 2000–2030

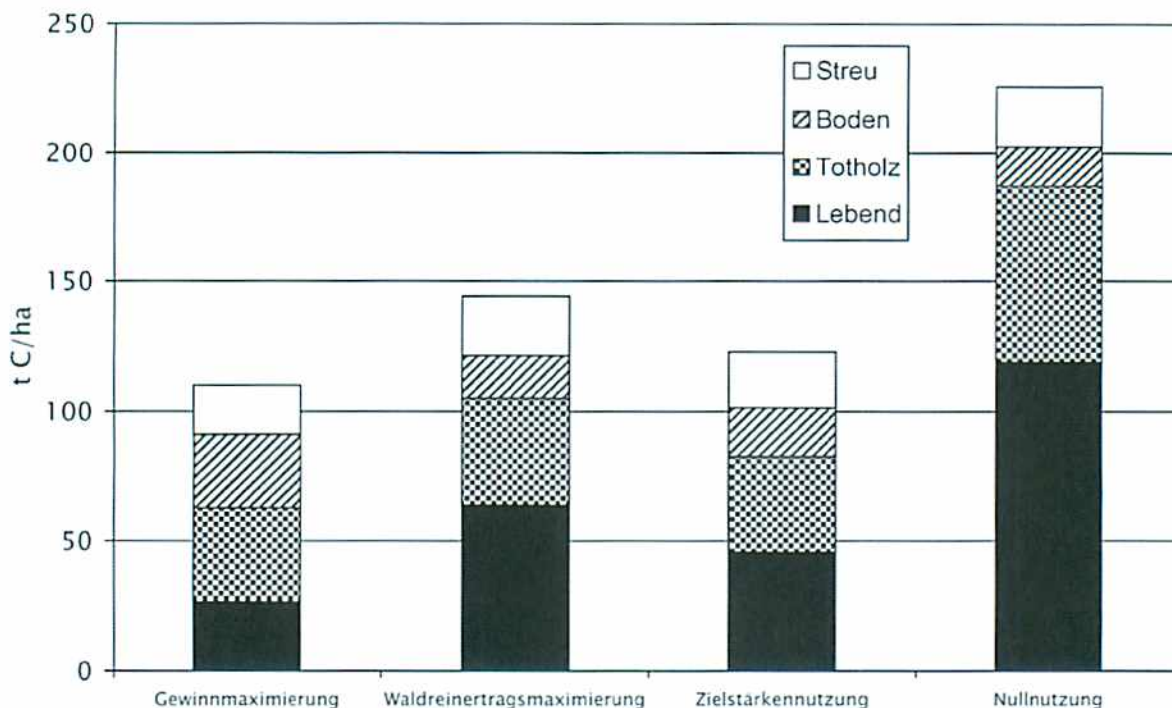


Abbildung 2: Entwicklung des C-Pools im Wald zwischen 2000 und 2030 unter verschiedenen Bewirtschaftungsoptionen, bezogen auf einen Hektar. Einzelne Pools wie z.B. der Boden sind hier als vorläufige Ergebnisse dargestellt

Das Potenzial der Speicher- und Substitutionswirkungen wird maßgeblich von der Art der Holzverwendung beeinflusst. Bei der energetischen Nutzung tritt die Speicherleistung zugunsten der direkten Substitution fossiler Energieträger in den Hintergrund. Die Klimaschutzwirkungen sind hier deutlich geringer als bei der stofflichen Nutzung, die über die Speicherung von Kohlenstoff in langlebigen Holzprodukten, die Mehrfachverwendung durch Recycling, energie- und emissionsarme Produktionsprozesse und abschließende energetische Verwendung eine vielfältige Kaskade zur Vermeidung oder Minderung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung ermöglicht (FRÜHWALD & SOLBERG 1995).

Die Höhe der Speicher- und Substitutionswirkungen des genutzten Holzes hängt im Wesentlichen vom Anteil der stofflichen Nutzung und der Zusammensetzung der Holzprodukte ab. Im Rahmen der bisher beschriebenen Modellanalysen wurde auf die Betrachtung der stofflichen Verwendung und die Kaskadennutzung verzichtet. Die für die verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien erzielten Holznutzungsmengen werden im Folgenden hypothetisch einer direkten energetischen Nutzung zugeführt, was zu einer konservativen Betrachtung

der Klimaschutzwirkungen der Holzverwendung führt. Diese Herangehensweise zeigt das Substitutionspotenzial der Holzverwendung nicht in vollem Umfang auf, erlaubt aber das Minimum dessen darzustellen, was der Forst- und Holzsektor zum Klimaschutz beitragen kann.

In Abbildung 3 sind die innerhalb des untersuchten Zeitraums von 30 Jahren genutzten Holzmenngen, die unter den vier Bewirtschaftungsoptionen erzielt wurden, in Energieeinheiten umgerechnet. Die Gewinnmaximierung erzielte die höchste Holznutzung, die einer Energiemenge von knapp 1.100 MWh/ha entspricht. Unter der Bewirtschaftungsoption der Waldreinertragsmaximierung bzw. der Zielstärkennutzung können 366 MWh/ha bzw. 521 MWh/ha bereitgestellt werden. Diese Energiemengen könnten zur Substitution fossiler Energieträger eingesetzt werden. Die Nullnutzung stellt durch den Nutzungsverzicht kein Holz bereit, so dass auf fossile Energieträger zurückgegriffen werden müsste. Im Vergleich zur Gewinnmaximierung müssten zur Kompensation des Nutzungsverzichts pro Jahr und Hektar 3.060 l Heizöl verfeuert werden, was einer Freisetzung von rund 2,8 t C bzw. 10 t CO<sub>2</sub> entspricht.

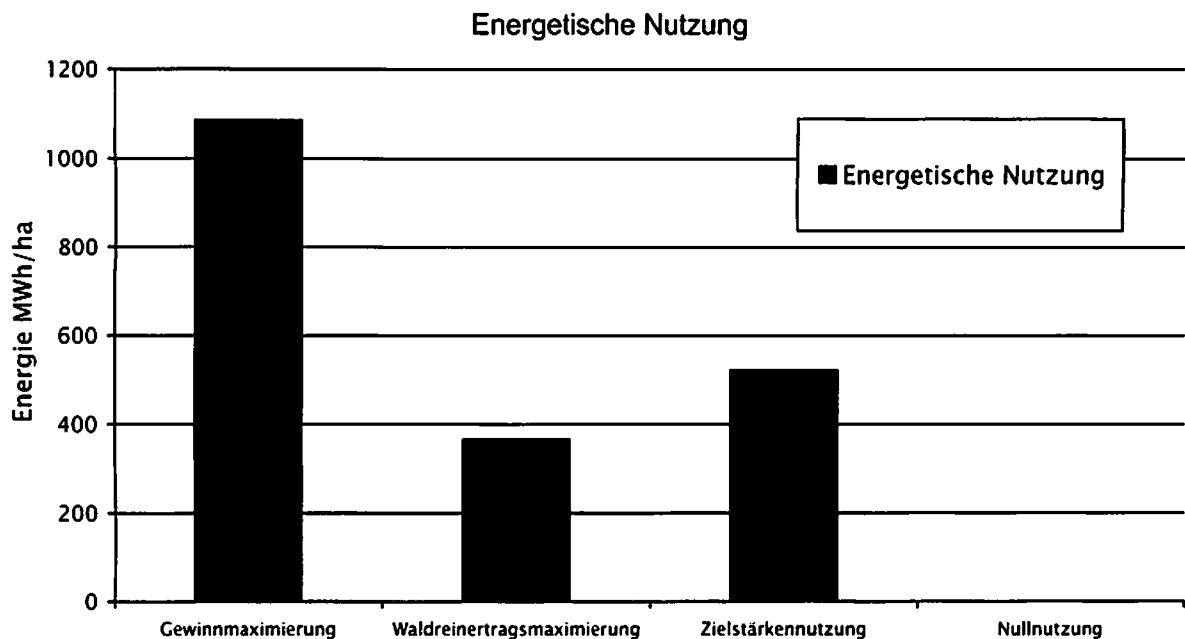


Da die Modellannahmen die Waldverhältnisse in Deutschland nahezu vollständig abbilden, können diese Zahlen für die 5% der aus der Nutzung genommenen Waldfläche hochgerechnet werden. Der Nutzungsverzicht würde unter den getroffenen Annahmen (Gewinnmaximierung, vollständige energetische Nutzung des geernteten Holzes, Heizöl als Substitut für Holz) jedes Jahr zu einem zusätzlichen Bedarf von 1,7 Mio. l Heizöl und einer Freisetzung von 5,5 Mio. t CO<sub>2</sub> führen.

Zur Ermittlung einer Gesamtbilanz müssen die Speicherleistungen durch den Biomasseaufbau und die Substitutionsleistungen durch die Holznutzung zusammengeführt werden. Unter der

ratsaufbaus sind. Bei nicht genutzten Beständen in der Gleichgewichtsphase tritt im Vergleich mit der Waldbewirtschaftung und Holznutzung ein Nettoverlust der Kohlenstoffbilanz ein.

Da die rein energetische Nutzung des geernteten Holzes kein Abbild der realen Verhältnisse in Deutschland ist, wird im Folgenden die stoffliche Nutzung in die Betrachtungen einbezogen. Bereits wenn ein Drittel des geernteten Holzes in Form von Brennholz oder Produktionsverlusten wie zum Beispiel Sägerestholz oder Späne und Spreißel energetisch genutzt und zwei Drittel durch die stoffliche Verwendung in den Produktspeicher überführt werden, ist die Kohlenstoffbilanz im Vergleich mit



**Abbildung 3: Energiepotenzial des zwischen 2000 und 2030 genutzten Holzes unter verschiedenen Bewirtschaftungsoptionen, bezogen auf einen Hektar Wald**

Prämisse der vollständigen energetischen Nutzung des geernteten Holzes ergibt sich für die 30-jährige Beobachtungsperiode bei einer auf die Gewinnmaximierung ausgerichteten Waldbewirtschaftung eine Speicherleistung von 110 t C/ha und ein Substitutionseffekt von 84 t C/ha. Die Gesamtbilanz liegt somit bei 194 t C/ha. Demgegenüber erfolgt beim Nutzungsverzicht eine Speichererhöhung um 245 t C/ha. Dieses hypothetische Beispiel zeigt, dass bereits bei einer rein energetischen Nutzung des geernteten Holzes der Nettogewinn durch Nutzungsverzicht nur rund 1 t C bzw. 3,6 t CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr beträgt. Dies gilt aber nur solange die Bestände ohne Nutzung in der Phase des Vor-

der Speicherleistung durch Nutzungsverzicht ausgeglichen. Hierbei sind die Effekte der Substitution energie- und emissionsintensiver Werkstoffe durch Holzprodukte, die gerade bei Mehrfachnutzung des Holzes ein hohes Reduktionspotenzial aufweisen, noch nicht berücksichtigt.

#### 4 Diskussion

Anhand von Kohlenstoffbilanzen kann gezeigt werden, dass eine intensive, nachhaltige Waldbewirtschaftung und Holznutzung einen effektiveren Beitrag zum Klimaschutz leistet als eine Erhöhung des Kohlenstoffspeichers im Wald durch

Nutzungsverzicht. Dies gilt bereits für Wälder, bei denen der Nutzungsverzicht aufgrund ihrer Altersklassenstruktur zu einem Vorratsaufbau führt. Erreichen die nicht genutzten Bestände eine Phase, in der sich Kohlenstoffbindung durch Biomassezuwachs und Kohlenstofffreisetzung durch den Abbau von Totholz die Waage halten, sind sie für den Klimaschutz ausschließlich als langfristiger Kohlenstoffspeicher relevant, da sie keine zusätzliche Bindung von Kohlenstoff und damit Senkenwirkung aufweisen. Besonders kritisch zu beurteilen sind Kalamitäten, da bei einer konsequenten Durchsetzung des Nutzungsverzichts Holz, das im Zusammenhang mit Kalamitäten anfällt, nicht aufgearbeitet wird, sondern im Bestand verbleibt. Durch die Zersetzungsprozesse des Totholzes und die dadurch bedingte Freisetzung von Kohlenstoff werden aus der Nutzung genommene Wälder nach Kalamitäten zur Kohlenstoffquelle. So fiel zum Beispiel im Nationalpark Bayerischer Wald eine Fläche von 4.000 ha dem Borkenkäfer zum Opfer. Unterstellt man den durchschnittlichen Derbholzvorrat in deutschen Wäldern, wurden auf diesen Borkenkäferflächen rund 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub> freigesetzt.

Im Gegensatz hierzu trägt die Forst- und Holzkette unaufhörlich zum Klimaschutz bei; im Wald und in Holzprodukten wird Kohlenstoff gespeichert, die Bestände bauen durch die Nutzung fortwährend Vorräte auf und binden damit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Durch Substitutionseffekte werden CO<sub>2</sub>-Emissionen durch fossile Energieträger oder die Verarbeitung nichtnachwachsender Rohstoffe gemindert. Die Holznutzung trägt daher zur Vermeidung von Emissionen bei und ist im Einklang mit den Zielen der Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls. Im Gegensatz hierzu setzt der Nutzungsverzicht einseitig auf eine Erhöhung des Kohlenstoffspeichers in Wäldern und wird langfristig keinen Beitrag zur Stabilisierung oder Minderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre leisten können.

## Literatur

- ALBRECHT S., RÜTER S., WELLING J., KNAUF M., MANTAU U., BRAUNE A., BAITZ A., WEIMAR H., SÖRGEN S., KREISSIG J., DEIMLING S., HELLWIG S. (2008): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht 2008/5 des Instituts für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Hamburg
- ARMSTRONG A. (2008): Facing the future. *Global Change Biology*, 14, S. 2910–2922
- BELLAMY P. H., LOVELAND P. J., BRADLEY R. I., LARK R. M., KIRK G. J. D. (2005): Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437, S. 245–248
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ – BfN (2006): Effektiver Klimaschutz braucht den Naturschutz. [[http://www.bfn.de/0401\\_pm.html?&cHash=d9a58e722f&tx\\_ttnews\[backPid\]=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=1263](http://www.bfn.de/0401_pm.html?&cHash=d9a58e722f&tx_ttnews[backPid]=1&tx_ttnews[tt_news]=1263)]
- FRÜHWALD A., SOLBERG B. (1995): Life cycle analysis – A challenge for forestry and forest industry. Proceedings of the International Workshop BFH/EFI, EFI Proceedings No 8, Joensuu, Finland
- KÖHL M., STÖMER W., KENTER B. (2008): Uncertainties in the estimation of effects of forest management and decay of dead woody material on carbon stock and carbon stock changes – a simulation study. *Forest Ecology and Management*, Vol. 256 (3), S. 229 – 236
- PRETZSCH H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin
- RÖTZER T., SEIFERT T., PRETZSCH H. (2008): Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. *European Journal of Forest Research*, DOI: 10.1007/s10342-008-0213-y
- SCHLESINGER W.H., LICHTER J. (2001): Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 411, S. 466–469
- SCHARAI-RAD, M., WELLING J. (2002): *Environmental and Energy Balances of Wood Products and Substitutes*. FAO, Rome
- UN-IPCC (2006): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC-NGGIP) [<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplu-lucf/gpplulucf.html>]