

### Simulation zur Berechnung der C-Sequestrierungspotenziale für Deutschland

# Möglichkeiten der Kohlenstoff-Speicherung in Wald und Holz

Von Michael Köhl, Bernhard Kenter und Konstantin Olschofsky

Nach dem Kyoto-Protokoll Artikel 3.4 können die im Antrag B aufgeführten Länder die Menge an CO<sub>2</sub> anrechnen lassen, die von 2008 bis 2012 aufgrund der Waldbewirtschaftung gespeichert wird. Doch wie viel CO<sub>2</sub> mag das sein? Das Projekt „Potenzial und Dynamik der C-Sequestrierung in Wald und Holz“ (CSWH)<sup>1</sup> beziffert und bewertet den möglichen Beitrag von Forst- und Holzwirtschaft am Beispiel Deutschlands zur Reduzierung bzw. Stabilisierung der Konzentration des Treibhausgases CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre.

Die Industrieländer, die im Anhang B des Kyoto-Protokolls aufgelistet sind, haben sich dazu verpflichtet, ihren Ausstoß an Treibhausgasen, insbesondere von CO<sub>2</sub>, zu mindern. Zentraler Punkt ist die absolute Mengenbegrenzung von Treibhausgasemissionen der Industrieländer. Für die Länder der Europäischen Union sind z.B. als Höchstemission 92 % des Bezugsjahres 1990 eingebracht worden.

Um diese Ziele zu erreichen, bezieht Artikel 2 des Kyoto-Protokolls auch das Potenzial von Wäldern zur C-Speicherung (C-Sequestrierung) ein. Bei einer Anrechnung muss über die Veränderung des Bestandesvorrates (einschließlich Totholz und Boden) Rechenschaft abgelegt werden.

Hauptziel des Projektes ist es, zur Verbesserung des Verständnisses der Bedeutung von Wäldern und Holzprodukten für den C-Kreislauf beizutragen: Potenziale der C-Sequestrierung unter verschiedenen Szenarien aufzuzeigen, Zielkonflikte mit etablierten Nachhaltigkeitsaspekten zu umreißen sowie Hilfestellung für die forstliche Planung und Waldbewirtschaftung zu geben. Die Ergebnisse sollen sowohl durch Handlungsempfehlungen für Betriebe als auch für forstpolitisch bedeutsame Maßnahmen im Bereich der Klimapolitik in einen gesellschaftlichen, politischen und ökonomischen Zusammenhang gestellt werden. Besonders her-

vorzuheben ist, dass hierbei nicht allein die Forstwirtschaft, sondern die Möglichkeiten der gesamten Forst-Holz-Kette Gegenstand der Betrachtungen ist.

Aus dieser Zielsetzung ergeben sich die folgenden, zentralen Fragen für eine nationale Bewertung des Potenzials zur C-Speicherung in Wald und Holz:

- 1) Welche Menge an Kohlenstoff kann mit verschiedenen Bewirtschaftungsstrategien in deutschen Wäldern gebunden werden?
- 2) Wie hoch ist das Potenzial zur Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten unterschiedlicher Lebensdauer?
- 3) Wie sind unter verschiedenen politischen, ökonomischen und klimatischen Bedingungen die Möglichkeiten der Forst- und Holzwirtschaft zur C-Speicherung einzuschätzen?

Mithilfe der zweiten Bundeswaldinventur (BWI<sup>2</sup>), Bodenkarten und klimatischer Größen werden hierzu die häufigsten Bestandesstrukturen abgeleitet und als Referenzbestände ausgewählt (s. Kasten). Es wird so versucht, ein breites Spektrum von tatsächlichen Bestockungsverhältnissen in Deutschland abzubilden. Mittels des Waldwachstumssimulators SILVA [2] wird das Potenzial jedes dieser Referenzbestände zur C-Sequestrierung ermittelt. Die simulierten Bestände werden zu künstlichen (virtuellen) Forstbetrieben zusammengefasst. Anschließend berechnet ein Betriebssimulator die Entwicklung dieser Forstbetriebe für unterschiedliche Betriebsstrategien. Dabei ist die Wertentwicklung der Bestände ein entscheidendes Bewertungsmerkmal. Je nach Bewirtschaftungsart „speichern“ die virtuellen Forstbetriebe unterschiedliche Kohlenstoffmengen im Wald und im genutzten Holz. Die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs in unterschiedlichen Holzprodukten, inklusive ihrer jeweiligen Lebensdauer, soll in Anlehnung an den Stock Change Approach des IPCC<sup>2</sup>

hergeleitet werden. Die Auswirkungen unterschiedlicher politischer und klimatischer Szenarien auf das Potenzial der Kohlenstoffspeicherung in der Forst- und Holzbranche werden ebenfalls simuliert. Die Ergebnisse werden anhand der Kriterien für nachhaltige Waldwirtschaft der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa bewertet und einer betriebs- und volkswirtschaftlichen Betrachtung unterzogen. Daraus werden Handlungsoptionen für Forstwirtschaft, Holzindustrie, Gesellschaft und Umweltpolitik abgeleitet.

## Virtuelle Forstbetriebe

Ein solcher Betrieb ist auf die wesentlichen Eigenschaften und Funktionen reduziert. Durch den Verzicht auf eine Untersuchung echter Betriebe können generelle Mechanismen wie beispielsweise Angebot- und Nachfragesituation ohne eine Verzerrung durch eine spezifische Betriebsausstattung und die lokale Marktlage untersucht werden. Das System soll in erster Linie grundsätzliche Beziehungen (Interaktionsmechanismen) für die Bewertung von Hypothesen abbilden.

Durch die Auswahl von fünf virtuellen Betrieben mit einem Nord-Süd und Ost-West-Gradienten wird versucht, die standörtlich und naturräumlich unterschiedlichen Verhältnisse Deutschlands abzubilden. Jeder Betrieb besteht aus fünf virtuellen Beständen, welche die flächenmäßig häufigsten Eigenschaften der untersuchten Regionen beschreiben. Jeder Bestand wird für unterschiedliche Eingriffsarten und für die jeweilige Marktlage analysiert. Je Betriebstyp werden entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen simuliert.

## Betriebsstrategien

Die Ausgangsbetriebe werden für folgende, nach DUSCHEL [1] modifizierte, Betriebstypen simuliert.

**A) Investor mit Schwerpunkt auf Massenertrag:** Endnutzung des Bestandes, wenn das Wertzuwachsprozent einen kritischen Wert unterschreitet; Bestandesbegründung mit der Baumart des höchsten Wertes; Durchforstungen für positive Erntekosten freie Holzerlöse; Durchforstungsstärke mit dem Ziel der Gewinnmaximierung.

**B) Investor mit Schwerpunkt auf Qualität:** Endnutzung nach der Kulmination des Gesamtwertzuwachses; Bestandesbegrün-

Prof. Dr. M. Köhl ist Inhaber des Lehrstuhles für Weltforstwirtschaft an der Universität Hamburg. B. Kenter und K. Olschofsky sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Weltforstwirtschaft der Universität Hamburg.

<sup>1</sup> Das Projekt wird vom BMBF im Förderschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“ von 2005 bis 2009 unterstützt (Förderkennzeichen 0330546).

<sup>2</sup> 2006 IPCC Good Practice Guidance for National Greenhouse Gas Inventories – Agriculture, Forestry and Other Landuse, Chapter 12 des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).



# Vom Baum zur Landschaft

dung mit einer standortgemäßen Baumart mit möglichst großem Wertertrag; Auslesedurchforstung alle fünf Jahre, auch bei negativen Erntekosten freien Holzerlösen.

**C) Investor mit Schwerpunkt auf langfristige Naturnähe:** Zielstärkennutzung nach Erreichen eines Mindestdurchmessers bis zur Kulmination des Wertzuwachses, anschließend Neubegründung; Bestandesbegründung mit der potenziellen natürlichen Vegetation; Auslesedurchforstung alle fünf Jahre, auch bei negativen Erntekosten freien Holzerlösen.

Zur Sicherung der Nachhaltigkeit werden Regeln eingeführt. Außerdem können unterschiedliche Regeln zur Erfüllung der Nachhaltigkeit getestet und miteinander verglichen werden.

## Definition der Forstbetriebe

Die Auswahl der einzelnen Bestände muss sowohl einer späteren nationalen Bewertung gerecht werden sowie die Abweichungen der Kohlenstoff-Speicherdynamik unterschiedlicher Bestandestypen abdecken. Ausgehend von den BWI<sup>2</sup> Ergebnissen wurden die Bestandeskenngrößen aus Einzelbaumwerten abgeleitet. Für die Bestandesauswahl müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden.

- Eine Bewertung der Resultate auf nationaler Ebene soll durch eine Flächengewichtung möglich sein.
- Hohe Veränderlichkeit der für die Kohlenstoffspeicherung bedeutsamen Faktoren.
- Wirtschaftliches Nutzungspotenzial der Referenzbestände.

Die Herausforderung hierbei liegt in der Wahl und Anzahl der Kennwerte bzw. deren Toleranzbreiten: Je mehr Kennwerte verwendet werden und je enger Toleranzbereiche sind, desto mehr Bestände werden definiert. Durch Bündelung (Stratifizierung), beispielsweise in Bundesländer oder Wuchsbezirke, kann die Varianz der Bestandesstrukturen und außerdem die klimatische und standörtliche Vielfalt reduziert werden.

Für die Überprüfung der Größenordnungen wurden die Ergebnisse mit der BWI<sup>2</sup>-Datenbank verglichen, wobei ähnliche nationale Größenordnungen aus den ausgewählten Beständen geschätzt werden können. Der gewichtete Vorrat ist insgesamt größer als bei der BWI<sup>2</sup>. Zum einen sind die Grundgesamtheiten unterschiedlich, da nur 71 % der Waldfläche durch die 25 Bestände beschrieben werden. Zum anderen führt die Methode der Auswahl zu einer Dominanz homogener Bestände. Verallgemeinerungen durch die Definition von Mischungsanteilen über Vorräte und Höhenklassen verzerren die Schätzungen weiter.

### Literaturhinweise:

[1] DUSCHL, C. (2001): Simulation forstbetrieblicher Sachverhalte auf der Basis gegenwärtiger Waldstrukturen Forstliche Forschungsberichte München 181/2001. [2] PRETZSCH, H.; BIBER, P.; DURSKY, J. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. Forest Ecology and Management, 162, S. 3-21.

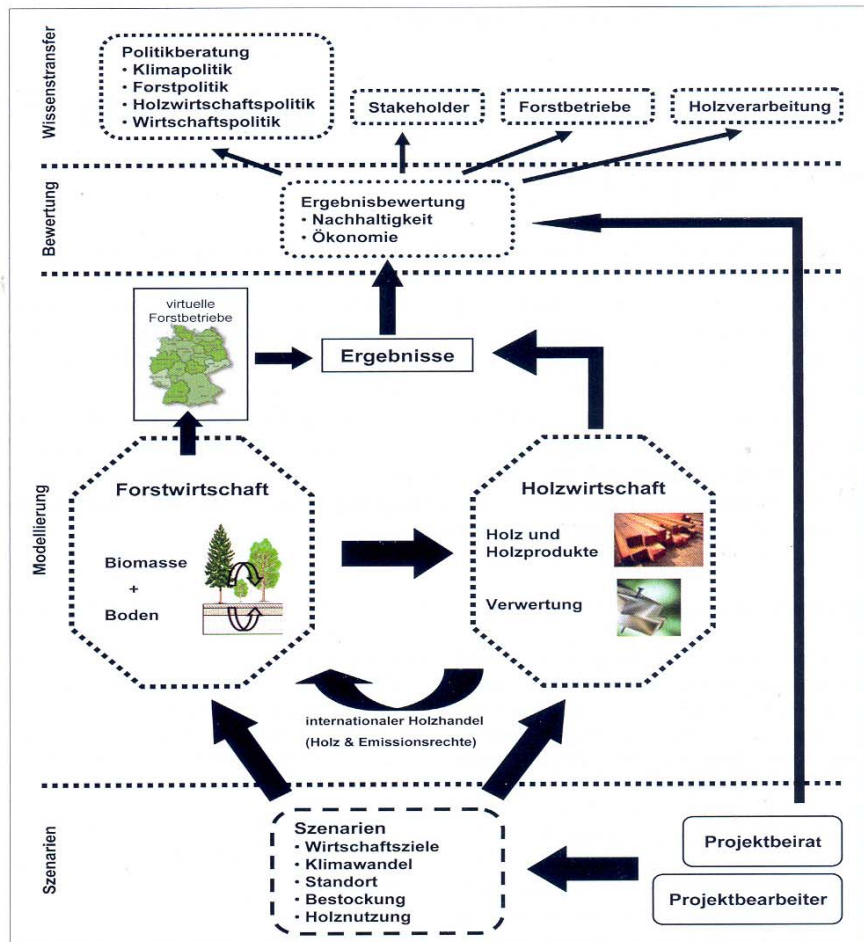


Abb. 1: Flussdiagramm für Nutzung virtueller Betriebe zur Ableitung nationaler Schätzungen für unterschiedliche Szenarien

## Die virtuelle Baumartenverteilung

Zunächst wurden die in der BWI<sup>2</sup> erfassten Baumarten in fünf Gruppen zusammengefasst: Kiefern, Fichten und andere Nadelhölzer, Buchen, Eichen sowie sonstige Laubhölzer. Anschließend wurden die Mischungsanteile anhand der Volumenanteile errechnet. Als Reinbestände wurden Wälder definiert, deren Vorrat zu mehr als 80 % aus einer Baumart gebildet wurde. Etwas mehr als ein Viertel der Waldfläche Deutschlands ist somit mit Mischbeständen bestockt. Nadelhölzer stellen mit fast 50 % den Großteil der Waldfläche. Unter der Annahme eines geschlossenen Waldes ist die Höhe der Hauptbaumart ein guter Indikator für die Entwicklungsstufe. Durch die Unterteilung von 10-m-Höhenklassen ist die Verzerrung der Schätzungen durch standörtlich bedingt variierende Bonitäten gering. Somit sind 14,5 % des deutschen Waldes mit Fichten und anderen Nadelbäumen zwischen 20 und 30 m bestockt. Den nächst größeren Flächenanteil haben Kiefern mit 7,0 % mit Höhen zwischen 10 und 20 m. Die häufigsten Mischungen wurden durch

die Bildung von 20%-Vorratsanteilgruppen untersucht. So sind 1,6 % der Bundesfläche mit einer Fichten-Buchen-Mischung mit 20 bis 40 % Buchen Anteil und 60 bis 80 % Fichten Anteil bedeckt.

Bei der absteigenden Sortierung der Bestandestypen nach Flächenanteil für Deutschland wird deutlich, dass mit den 25 Beständen auf nationalem Niveau (ohne Berücksichtigung von Boden-, Standorts- und Klimaunterschieden) 71 % der Waldfläche beschrieben werden können. Mit einer Verdoppelung der Stichprobeneinheiten können 15%-Punkte mehr (also 86 %) beschrieben werden.

Entsprechend wurden die Mischungsanteile der sechs ausgewählten Bundesländer errechnet und die fünf flächenmäßig größten Bestandestypen ermittelt, wobei ausschließlich Reinbestände in die Endauswahl fielen. Die Bestandestypen unterscheiden sich nur teilweise zwischen den Bundesländern. So kommt Fichte zwischen 20 und 30 m in fünf von sechs Bundesländern vor. Die Dominanz der Nadelholzarten in der landesweiten Auswahl hat gegenüber der nationalen Auswahl zugenommen.