

# Simulationen zum Kohlenstoffhaushalt europäischer Wälder des Forstlichen Umweltmonitorings (Level II) unter Klimawandel

Michael Janott<sup>1)</sup>, Hubert Jochheim<sup>1)</sup>, Stefan Fleck<sup>2)</sup>, Reinhard Kallweit<sup>3)</sup>, Christoph Schulz<sup>4)</sup>, Oliver Granke<sup>5)</sup>, Konstantin Olschofsky<sup>5)</sup>, Richard Fischer<sup>5)</sup>, Martin Lorenz<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Institut für Landschaftssystemanalyse  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)  
Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg  
Michael.Janott@zalf.de

<sup>2)</sup>Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen

<sup>3)</sup>Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Eberswalde

<sup>4)</sup>Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising

<sup>5)</sup>Johann Heinrich von Thünen-Institut für Weltforstwirtschaft (vTI), Hamburg

**Abstract:** Der Kohlenstoffhaushalt der Waldökosysteme ausgewählter ICP Forests Level II-Flächen wurde im Rahmen des FutMon-Projektes mit dem Modell BIO-ME-BGC (Version ZALF) simuliert. Die Level II-Datenbank des vTI-Instituts für Weltforstwirtschaft sowie zusätzliche Daten nationaler Forstinstitute bildeten die Datengrundlage für die Initialisierung und Kalibrierung des Modells. Mit dem kalibrierten Modell wurden Simulationen mit gegenwärtigen sowie mit in die Zukunft projizierten Klimabedingungen durchgeführt. Die Simulationen des C-Haushalts mit dem kalibrierten Modell weisen die meisten Waldökosysteme aktuell als C-Senken aus. Unter Klimawandel steigen die Bilanzgrößen des C-Haushalts (NEP und NBP) an, so dass von einer erhöhten C-Sequestrierung ausgegangen werden kann.

## 1. Einleitung

Die Bilanzierung von Kohlenstoffflüssen ist nötig, weil die Mehrheit (15 von 23) der Länder in der Europäischen Union die Möglichkeit nutzen wollen, ihre C-Senken nach Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls anrechnen zu lassen. In der ersten Phase (2008-2012) müssen daher alle Änderungsraten der ober- und unterirdischen Biomasse-, Streu-, Totholz- und Bodenspeicher erfasst werden [U06].

Innerhalb des ICP Forests Level II Programms wurden Teile der C-Bilanz auf Europäischen Waldflächen erfasst. Durch eine Anwendung des Simulationsmodells Biome-BGC werden Messdaten verknüpft, um daraus die C-Bilanzen für Waldökosysteme zu schät-

zen. Durch die Verwendung zukünftiger Klimadaten können Aussagen über die Reaktion der C-Flüsse, -Speicher und -Bilanzen auf den Klimawandel getroffen werden.

## 2. Methoden

Die Level II-Datenbank des vTI-Instituts für Weltforstwirtschaft sowie zusätzliche Daten nationaler Forstinstitute bildeten die Datengrundlage für die Initialisierung und Kalibrierung des Modells. Die Daten umfassten die Themen Meteorologie, N-Deposition, Bodenparameter, Wurzeltiefe, Holzvolumen, Bestandesniederschlag, Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Waldwachstum und Streufall. Um diese Daten für Biome-BGC nutzbar zu machen, wurden SPSS-Routinen entwickelt, die die benötigten Daten aus den Datenquellen extrahieren und im benötigten Format abspeichern.

Für die Simulationen wurde das Modell Biome-BGC (Vers. ZALF, [JPP07], [PJ07]) verwendet. Es basiert auf BIOME-BGC Version 4.2 [Th02], einem Simulationsmodell zur Berechnung des Energie-, Wasser-, C- und N-Haushalts von Biomen. Am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) wurde das Modell um Module für die Waldbewirtschaftung, Wurzelwachstum und ein Mehrschichtmodul für Bodenwasser, -C und -temperatur erweitert und stärker baumartenspezifisch ausgerichtet.

Aus der Datenanalyse ergaben sich 28 Flächen mit ausreichender Datenmenge und -qualität aus Deutschland (16), Italien (7), Slowakei (2), Belgien, Griechenland und Österreich (je 1). Die mittlere Lufttemperatur reicht von 4 °C bis 12 °C, der mittlere Jahresniederschlag von 580 mm a<sup>-1</sup> bis 1680 mm a<sup>-1</sup>. Die Hauptbaumarten sind *Pinus sylvestris* L. (9), *Picea abies* Karst. (9), *Fagus sylvatica* L. (7), *Quercus cerris* L. (1), *Quercus frainetto* Ten. (1) und *Quercus robur* L. (1) in den Altersklassen von 60 Jahren bis 160 Jahren.

Die Klimaprojektionen des FutMon\_CLM-Datensatzes basieren auf dem CLM-Datensatz [Ho08], der auf den IPCC-SRES-Emissionsszenarien A1B und B1 und dem globalen Klimamodell ECHAM5-MPI-OM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Hamburg, aufbaut. Zur Untersuchung der Effekte des Klimawandels auf den C-Haushalt werden die Ergebnisse der Simulationen mit Klimaszenarien des FutMon\_CLM-Datensatzes aus den Zeitabschnitten 2040-2059 und 2080-2099 mit denen der Referenzperiode (1990-2009) verglichen. In allen Zeitabschnitten bleiben die Modellstartwerte und die Stickstoffdeposition gleich, nur Klimadaten und CO<sub>2</sub>-Konzentration ändern sich.

## 3. Ergebnisse

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit gemessenen Daten zeigt, dass Biome-BGC (Vers. ZALF) den Wasserhaushalt und den oberirdischen C-Haushalt gut wiedergeben kann. Die Kalibrierung des unterirdischen Teils des C-Haushalts (Wurzelumsatz, Bodenrespiration etc.) ist dagegen unsicher.

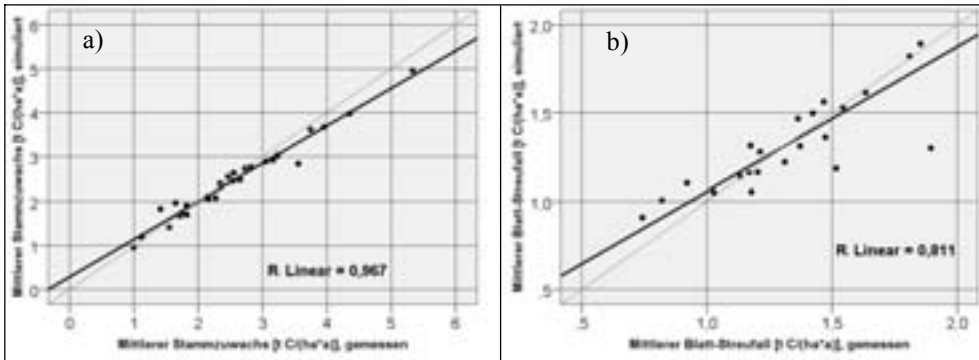


Abbildung 1: Gegenüberstellung der Flächenmittel von simuliertem und gemessenem Stammzuwachs (a) und Blatt-Streufall (b)

Für das Jahr 2009 zeigen unsere Simulationsergebnisse Gesamt-C-Vorräte der Waldökosysteme von durchschnittlich  $323 \text{ t C ha}^{-1}$ , davon  $152 \text{ t C ha}^{-1}$  im Boden (0 cm bis 100 cm),  $125 \text{ t C ha}^{-1}$  in Stamm, Ästen u Zweigen,  $22 \text{ t C ha}^{-1}$  in Blatt- und Wurzelstreu + Totholz,  $18 \text{ t C ha}^{-1}$  in Grobwurzeln,  $3,9 \text{ t C ha}^{-1}$  in Laub/Nadeln u.  $1,8 \text{ t C ha}^{-1}$  in Feinwurzeln.

Die simulierte Bruttoprimärproduktion (GPP) entspricht in der Kalibrierungsperiode 1996-2009 im Mittel über 28 Flächen  $14,3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Der größte Teil ( $7,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) davon wird durch Pflanzenrespiration (PR) verbraucht. Die Differenz ( $6,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) entspricht der Nettoprimärproduktion (NPP), die als kurzfristige C-Speicherung bezeichnet wird.  $4,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  verlassen die Ökosysteme durch die heterotrophe Respiration. Es verbleiben  $2,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  als Nettoökosystemproduktion (NEP), die als mittelfristige C-Bilanz betrachtet wird. Wird der C-Export durch die Ernte berücksichtigt ( $0,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), verbleiben  $1,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  als Nettobiomproduktion (NBP), die langfristig im Ökosystem gespeichert werden. Die NBP entspricht der Summe der jährlichen Änderungsraten der C-Speicher von Vegetation ( $1,47 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), Streu ( $0,26 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), Totholz ( $0,15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und Boden ( $-0,07 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Auf 22 Flächen ist die NBP positiv, auf 6 negativ.

Im Vergleich zur Referenzperiode (1990-2009) steigt die GPP durch den prognostizierten Klimawandel je nach Periode (2040-2059 oder 2080-2099) und Emissionsszenario (A1B oder B1) um  $1,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $4,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  an. Ebenso wie die GPP steigen auch die Respirationsprozesse an, die Erhaltungsrespiration um  $0,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $2,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , die Wuchsrespiration um  $0,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und die heterotrophe Respiration um  $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Für die C-Bilanzen bedeutet das einen Anstieg der NPP um  $0,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $1,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , für die NEP um  $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und für die NBP um  $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die NBP setzt sich aus den Änderungsraten der C-Speicher in der Vegetation ( $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), der Streu ( $0,02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $0,04 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), des Totholzes ( $-0,04 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $-0,01 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und des Bodens ( $-0,09 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $-0,02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) zusammen.

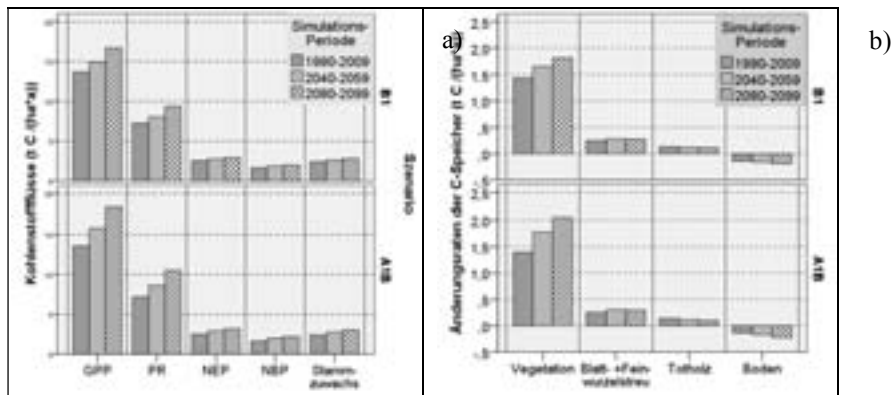


Abbildung 2: Simulierte Kohlenstoffflüsse (a) und Änderungsraten der Kohlenstoffspeicher (b) als Mittelwerte über 28 Level II-Flächen für die Perioden 1990-2009, 2040-2059 und 2080-2099 unter Verwendung der FutMon\_CLM-Klimaprojektionen.

### 3. Fazit

Die Daten der Intensivbeobachtungsflächen des ICP Forest Level II-Programms eignen sich gut, um biogeochemische Simulationsmodelle zu kalibrieren. Dadurch konnten für den Zeitraum 1996-2009 22 der 28 Flächen als Kohlenstoffsenken ausgewiesen werden, 6 als Quellen. Unter zukünftigen Klimabedingungen wird die Senkenfunktion der untersuchten Waldökosysteme im Mittel verstärkt. Die Auswahl der Standorte beruhte auf einer Datenverfügbarkeitsanalyse. Die Ergebnisse sind daher nicht flächenrepräsentativ für Europa. Die Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse ist für den oberirdischen Teil des C-Haushalts gut. Für den unterirdischen Teil bleiben die Ergebnisse aufgrund schwacher Datenlage für die Startwertfindung und die Modellkalibrierung unsicher.

### Literaturverzeichnis

- [Ho08] Hollweg H-D, et al. 2008. Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. Hamburg: Max Planck Institute for Meteorology. Report no.
- [JPP07] Jochheim H, Puhlmann M, Pohle D. 2007. Implementation of a forest management module into BIOME-BGC and its application. EOS Transactions Supplement 88 B24A-04.
- [PJ07] Puhlmann M, Jochheim H. 2007. Implementation of a multi-layer soil model into Biome-BGC: calibration and application. EOS Transactions Supplement 88 B24A-05.
- [Th02] Thornton PE, et al. 2002. Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets in evergreen needleleaf forests. Agricultural and Forest Meteorology 113: 185-222.
- [U06] UNFCCC. 2006. The European Community's initial report under the Kyoto Protocol. Report to facilitate the calculation of the assigned amount of the European Community pursuant to Article 3, paragraphs 7 and 8 of the Kyoto Protocol. Submission to the UNFCCC Secretariat. European Environment Agency. Report no. 10/2006, European Environment Agency