

Die Kohlenstoffbilanz der nördlichen Wälder

Entwicklung eines integrierten Simulationsmodells unter besonderer Berücksichtigung der Altersklassendynamik und ausgewählter Klimaszenarien

Dr. Christof Häger

Einleitung

Nicht erst seit der ersten Welt-Klimakonferenz UNCED 1992 in Rio de Janeiro stehen das globale Klima, seine Änderung und die daraus möglicherweise folgenden Auswirkungen im Blickpunkt einer interessierten Öffentlichkeit. Hintergrund der öffentlichen Debatte ist der seit langem beobachtete Anstieg des Anteils von atmosphärischen Spurengasen, die eindeutig anthropogener Natur sind. Dadurch wird eine Veränderung der globalen Strahlungsbilanz hervorgerufen, was wiederum zu Änderungen des Klimas führt.

Viele Ergebnisse der Forschungsprojekte zur Klimaveränderung sind in den Berichten des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) veröffentlicht. Die Auswirkungen des vom IPCC festgestellten „*merklichen menschlichen Einflusses auf das globale Klima*“ sind gegenwärtig noch nicht ausreichend bekannt. Im Rahmen der Ursachenforschung ist es von großem Interesse, die Wirkungszusammenhänge zwischen dem Klimasystem auf der einen Seite und weiteren natürlichen und vom Menschen beeinflussten Systemen auf der anderen Seite aufzuklären. Eines der natürlichen Systeme, die eng mit dem Klimasystem verknüpft sind, ist der globale Kohlenstoffkreislauf. Ein Teilsystem davon ist der Kohlenstoffkreislauf der terrestrischen Biosphäre.

Fragestellung

Für die vom IPCC für die 80er Jahre ermittelte, globale Netto-Kohlenstoffaufnahme der terrestrischen Biosphäre von etwa 0,5 bis 1,9 GtC/a werden vom genannten Gremium in seinem Bericht „*Climate Change 1996*“ insgesamt vier Gründe genannt. In der eingereichten Arbeit wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das zur Modellierung von Zweien dieser Effekte verwendet wird. Die beiden Effekte sind das Wiederaufwachsen von Wäldern der mittleren und höheren Breiten und ein verstärktes Pflanzenwachstum unter Einwirkung einer erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentration (CO₂-Düngungseffekt). Mit dem Modell kann die Größenordnung des Einflusses dieser beiden Effekte auf die Kohlenstoffbilanz abgeschätzt werden.

Vorgehensweise

Das in der eingereichten Arbeit entwickelte, integrierte Modell (FBM-AGEDYN) besteht aus zwei Untermodellen:

- Ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Modell zur Berechnung der zeitlichen Veränderung von Altersklassenverteilungen in Wäldern unter Einfluß von Störungen (AGEDYN). Damit kann eine Kohlenstoffbilanz aufgestellt werden, wenn Kurven der gespeicherten Biomasse in Abhängigkeit von der Aufwachszeit (Aufwachskurven) vorliegen.
- Ein globales, prozeßorientiertes Biosphärenmodell, das Frankfurter Biosphärenmodell (FBM), hier verwendet zur mechanistischen Simulation der Aufwachskurven von Wäldern bei unterschiedlichen Klimaszenarien.

Bei den FBM-Simulationen werden Szenarien der zukünftigen Klimaentwicklung verwendet, die aus Ergebnissen von Klimasimulationen eines externen Modells der generellen atmosphärischen Zirkulation abgeleitet sind (ECHAM, MPI für Meteorologie, Hamburg). Die Szenarien für die FBM-Simulationen sind:

Szenario ❶ Fortschreibung der gegenwärtigen Klimabedingungen.

Szenario ❷ Konstante Bedingungen eines Klimas, das sich nach den ECHAM-Simulationen unter einer verdoppelten atmosphärischen CO₂-Konzentration einstellen würde (2 × CO₂-Klima nach dem IPCC Szenario „*business as usual*“).

Szenario ❸ Konstantes 2 × CO₂-Klima mit zusätzlicher Wirksamkeit eines CO₂-Düngungseffektes.

Szenario ❹ Wirksamkeit eines CO₂-Düngungseffektes.

Mit dem integrierten Modell FBM-AGEDYN wird in der eingereichten Arbeit eine Fallstudie für Deutschland durchgeführt. Dabei werden die Auswirkungen der in den Klimaszenarien angenommenen Umweltver-

änderungen auf die deutschen Wälder untersucht und eine Kohlenstoffbilanz für diese Wälder bis zum Jahre 2090 aufgestellt. Hierzu wird neben Szenario ❶ ein fünftes, kontinuierliches Szenario angenommen:

Szenario ❷ Stetige Klimaänderung auf das angenommene $2 \times \text{CO}_2$ -Klima innerhalb des Zeitraumes von 1990 bis 2090 und Wirksamkeit des CO_2 -Düngungseffektes.

Ergebnisse

AGEDYN-Simulationen

Mit dem Altersklassenmodell in Verbindung mit analytischen Wachstumsgleichungen erhält man die folgenden Ergebnisse für die Kohlenstoffbilanz: Trotz unterschiedlicher regionaler Entwicklungen sind die bewirtschafteten Wälder der temperierten und borealen Zone bei einer Fortschreibung der gegenwärtigen Bewirtschaftungsweise für die kommenden 100 Jahre eine fast konstante Kohlenstoffsinke von ca. 300 MtC/a. Bei einer Berücksichtigung des CO_2 -Düngungseffektes in den Wachstumsgleichungen ergeben die Simulationen, daß sich diese Senke auf fast 600 MtC/a im Jahre 2090 vergrößern könnte. Noch größeren Einfluß auf die Kohlenstoffspeicherung hat jedoch eine Änderung der Bewirtschaftungspraxis. Die Spanne der berechneten Netto-Kohlenstoffbilanz im Jahre 2090 reicht von einer Kohlenstoffsinke bei jährlicher Verminderung des Holzeinschlages um 0,5% (bis zu 700 MtC/a) bis zu einer Kohlenstoffquelle bei einer jährlichen Erhöhung des Holzeinschlages um 0,5% (bis zu 500 MtC/a).

FBM-Simulationen

Zunächst werden zwei Ansätze mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung der treibenden Klimavariablen (Temperatur und Niederschlag) miteinander verglichen. Den dabei auftretenden Unterschieden in den Simulationsergebnissen wird im Rahmen einer Modellvalidierung mit der größtmöglichen Auflösung weiter nachgegangen. Dazu wird eine Simulationsreihe für alle Gitterelemente eines Landes (hier für das Beispiel Deutschland) durchgeführt. Nimmt man für die Simulationen des Aufwachsens eine Klimaänderung nach Szenario ❷ an, so wirkt sich dies deutlich negativ auf die im Klimax erreichten Biomassen in den einzelnen Gitterelementen aus: Es wird eine wesentlich niedrigere Biomasse erreicht als in Szenario ❶. Dagegen führt Szenario ❷ zu einem schnelleren Aufwachsen der untersuchten Vegetationstypen und zu einer deutlichen Erhöhung der Biomasse. Bei Szenario ❸ zeigt sich ein differenzierteres Bild: Während für die Nadelwälder die Biomasse im Klimaxzustand niedriger ist als bei Szenario ❶, liegt sie für Laub-Mischwälder höher. Da für die deutschen Wälder vergleichsweise viele Daten über den Waldbestand verfügbar sind, werden die Ergebnisse von Szenario ❶ mit den vorhandenen Daten verglichen, um so das Modell zu validieren. Die mit der größtmöglichen Auflösung simulierten Aufwachskurven für die betrachteten Waldgebiete entsprechen den beobachteten Aufwachskurven. Damit wird die Gültigkeit des Modells bestätigt.

Fallstudie für Deutschland mit dem integrierten Modell FBM-AGEDYN

Ersetzt man im Modell AGEDYN die analytische Wachstumsmodellierung durch den im FBM verwendeten Ansatz, so lassen sich mit FBM-AGEDYN zusätzlich die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Altersklassenverteilung und damit auf die Kohlenstoffbilanz simulieren. Nach der mit dem integrierten Modell bis zum Jahre 2090 durchgeführten Fallstudie für Deutschland beträgt die berechnete Dichte des in der stehenden Biomasse der deutschen Wälder im Jahre 1990 gespeicherten Kohlenstoffes etwa $8,14 \text{ kgC/m}^2$. Die Menge des in der Biomasse der deutschen Wälder auf der betrachteten Grundfläche gespeicherten Kohlenstoffes beläuft sich demnach für dieses Jahr auf ca. 778 MtC. Sowohl bei Szenario ❶ (reine Veränderung der Altersstruktur) als auch bei Szenario ❷ ergeben die Simulationsläufe einen Anstieg der Biomasse (auf ca. 925,9 MtC im ersten und ca. 955,7 MtC im zweiten Fall) und damit eine positive CO_2 -Bilanz der Wälder (Kohlenstoffspeicherung). Über den gesamten Simulationszeitraum zeigen sich also nur geringe Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen der Szenarien ❶ und ❷ für die jährliche Kohlenstoffaufnahme. Dies deutet darauf hin, daß die Veränderung der Altersstruktur für die zukünftige Kohlenstoffbilanz in den deutschen Wäldern wichtiger als ein klimatischer Einfluß ist.

Ausblick

Das in dieser Arbeit entwickelte und in einem Fallbeispiel validierte Modell hat durch die mögliche Verwendung von unterschiedlichen Klimaszenarien und die Untersuchung von verschiedenen räumlichen Gebieten vielfältige Anwendungsbereiche, um die Auswirkungen einer anthropogenen Klimaänderung auf den Kohlenstoffkreislauf der terrestrischen Biosphäre abzuschätzen. Wie bereits oben erwähnt, ist dieses Thema von besonderer wissenschaftlicher Aktualität und wird international heiß diskutiert. Die beiden in der eingereichten Arbeit verwendeten Modelle und das integrierte Modell FBM-AGEDYN sind in zahlreichen Konferenzbeiträgen und wissenschaftlichen Publikationen in Fachzeitschriften unter der Mitautorenschaft des Autors der Arbeit beschrieben. Die Annahme der aus der eingereichten Arbeit hervorgegangenen Publikationen durch die Gutachtergremien internationaler wissenschaftlichen Journale zeigt die Aktualität des Themas (s. Publikationsliste am Ende der Arbeit).