

A Tagungsband „Klimaschutz und Klimawandel - Rolle der Forstwirtschaft“

Klimawandel – Auswirkungen auf Waldökosysteme

Prof. Cr. Christian Bernhofer, Dr. Thomas Grünwald, PD Dr. Barbara Köstner, Johannes Franke, Dr. Valeri Goldberg

Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden

Pienner Straße 23, D-01737 Tharandt

1. Einleitung

Seit der Industrialisierung haben die Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre deutlich zugenommen (siehe www.ipcc.ch), vor allem von Kohlendioxid (von ca. 280 ppm auf ca. 380 ppm), Lachgas, Methan, Ozon und den Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKWs). Aus der statistischen Analyse der globalen Temperaturdaten lässt sich bestimmen, dass dadurch die zusätzliche Erwärmung von 0,7°C im 20. Jahrhundert erklärt werden kann. Diese Aussage ist zu 99 % sicher, die Auswirkungen auf andere für die Vegetation wichtigere Größen, wie Niederschlag und Verdunstung sind aber schwierig. Durch Rückkopplungsprozesse sind alle Größen des Energie-, Wasser- und Kohlenstoffhaushaltes miteinander in komplexer, nicht-linearer Weise miteinander verknüpft. So führt die höhere Temperatur zunächst zu größerer Verdunstung, in der Folge aber auch zu mehr Wolken und damit weniger Strahlung, was die Verdunstung dämpft. Ähnliches gilt für den Niederschlag, der zwar durch die größere Wassermenge in der Atmosphäre gefördert wird, aber gleichzeitig durch die Erwärmung des Erdbodens und eine Erhöhung der Wolkenbasis gedämpft.

Die Entwicklung der Verdunstung und des Niederschlags lässt sich daher – im Gegensatz zur Temperaturentwicklung – z. Zt. noch nicht zuverlässig vorhersehen. Gleichzeitig wird die Vegetation gerade durch Niederschlag und den Verdunstungsanspruch der Atmosphäre stark beeinflusst, was sich in geändertem Baumwachstum und Abbauprozessen im Boden niederschlagen sollte. Die typische Rolle der mitteleuropäischen Wälder als Kohlenstoffspeicher (VALENTINI et al., 2000; CIAIS et al., 2005) ist daher unmittelbar vom Klimawandel bedroht, aus heutiger Sicht lassen sich aber nur erste Vermutungen über Richtung und Umfang dieser Änderungen anstellen.

2. Der Austausch von Kohlenstoff zwischen Vegetation und Atmosphäre

Der Austausch von Kohlenstoff zwischen Vegetation und Atmosphäre ist eine komplexe Bilanz zwischen mehreren Prozessen, die in vielen Raum- und Zeitskalen variieren und nur exemplarisch durch Messungen zugänglich sind. An einem typischen Waldstandort sind das: C-Gewinn durch Photosynthese, C-Verlust durch a) Atmung der lebenden, oberirdischen und unterirdischen Organe der Bäume, b) Atmung beim Abbau organischer Substanz (vor allem mikrobielle Atmung im Boden) und c) Waldbrand u. a. Störungen. Die vollständige Bilanz dieser Prozesse wird als NBP (Net Biome Production) bezeichnet und kann mit etwa 1-2 Gt C/Jahr gut die heute beobachtete terrestrische C-Senke erklären (Quelle: GCET/IGBP¹). Unter Vernachlässigung von c) – also an einem ungestörten Standort, z. B. einem Wald sehr lange nach dem letzten Waldbrand – beträgt die typische Kohlenstoffaufnahme nach Messungen aus dem europäischen Verbundprojekt CarboEurope IP (PAPALE et al., 2006) zwischen 0 und 600 g/m²a (NEP, Net Ecosystem Production). Die große Variation hat ihre Ursache in den völlig unterschiedlichen Standortbedingungen in Europa.



¹ Anm. d. Red.: Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCET) ist ein Kernprojekt des International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), einem international ausgerichtetem Forschungsprogramm zur Untersuchung des globalen Wandels (siehe www.igbp.kva.se).

Aber selbst wenn die Betrachtung auf einen einzigen Standort (hier der CarboEurope-Fichtenbestand im Tharandter Wald) beschränkt wird, ergeben sich große zwischenjährliche Schwankungen (Abb. 1). Aus Sicht der Atmosphäre wird hier NEE (Net Ecosystem Exchange) angegeben, NEE ist daher gleich minus NEP: Ein Verlust für die Atmosphäre entspricht einem C-Gewinn für das Ökosystem. Einem Wert von fast 700 gC/m² im Jahr 1999 stehen knapp 400 gC/m² im Trockenjahr 2003 gegenüber. Nachdem die Häufigkeit solcher Sommer wie 2003 im 21. Jh. zunehmen sollte, ist es eine legitime Spekulation die Verhältnisse von 2003 als Anhaltspunkt für die Entwicklung der Kohlenstoffspeicher von Wäldern heranzuziehen (REICHSTEIN et al., 2005). Gleichzeitig wurde die Anomalie des Jahres 2003 für die CarboEurope-Standorte als eine durch die Trockenheit verursachte beschrieben.

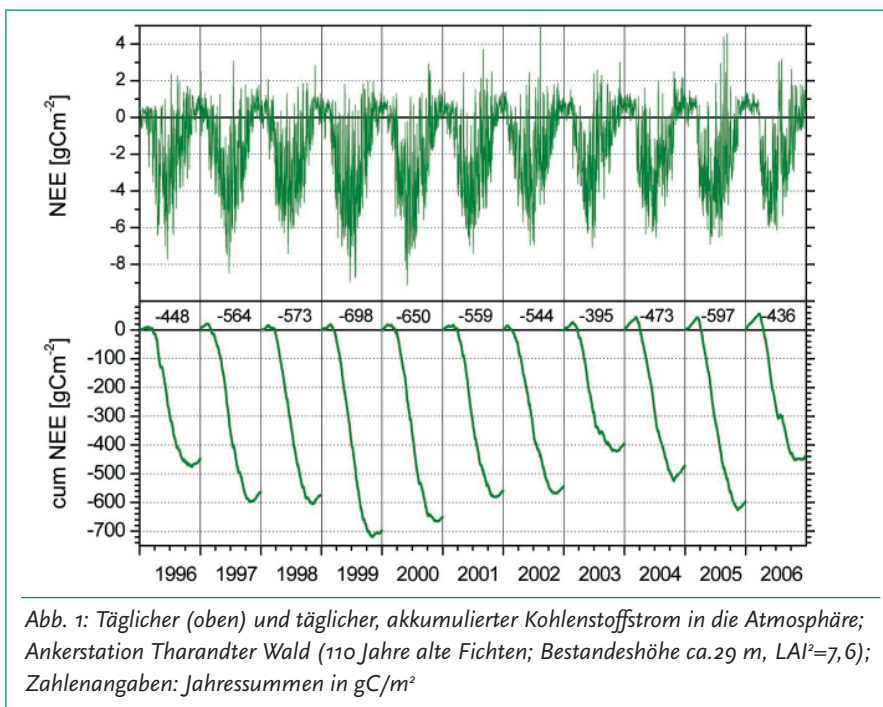
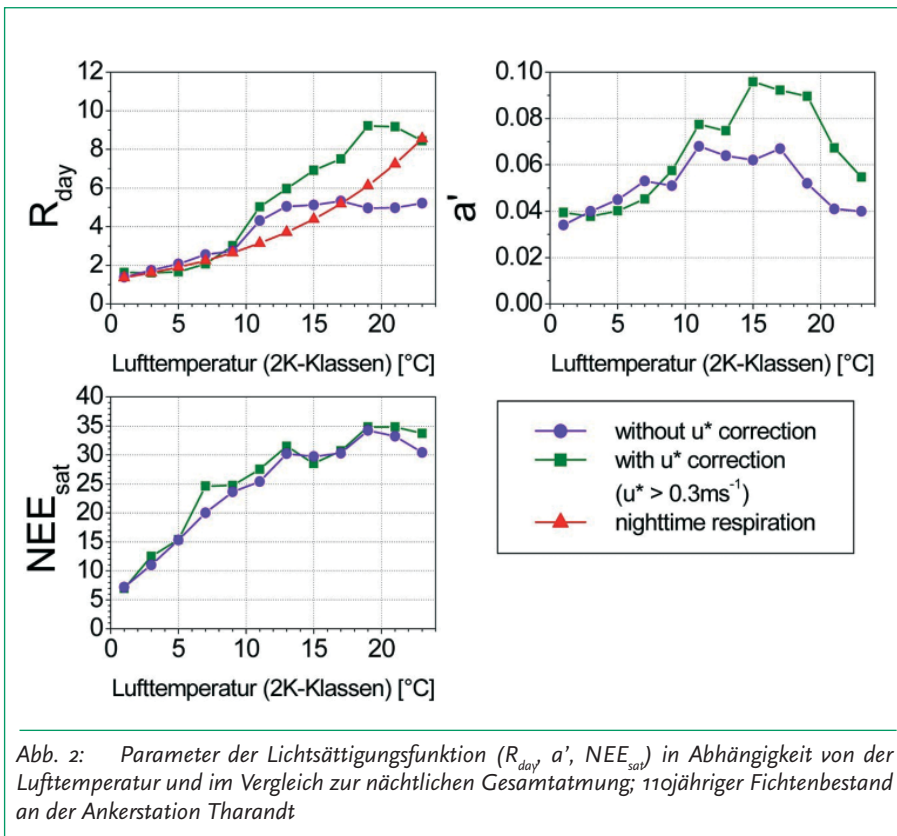


Abb. 1: Täglicher (oben) und täglicher, akkumulierter Kohlenstoffstrom in die Atmosphäre; Ankerstation Tharandter Wald (110 Jahre alte Fichten; Bestandeshöhe ca. 29 m, LAI²=7,6); Zahlenangaben: Jahressummen in gC/m²

Dabei ist es notwendig, zumindest den Beitrag der nächtlichen Gesamatmung (TER, Total Ecosystem Respiration; aus nächtlichen Messungen ableitbar) und den Beitrag der Nettosenke tagsüber getrennt zu betrachten (NEE_{day}; von der Photosynthese dominiert). Die Ursache der geringen Senke 2003 war eine durch die Trockenheit reduzierte Photosynthese, die Atmung 2003 entsprach einem Normaljahr – der Temperatureffekt wurde durch die geringe Bodenfeuchte ausgeglichen.



2 Anm. d. Red.: LAI = Leaf Area Index (Blattflächenindex)



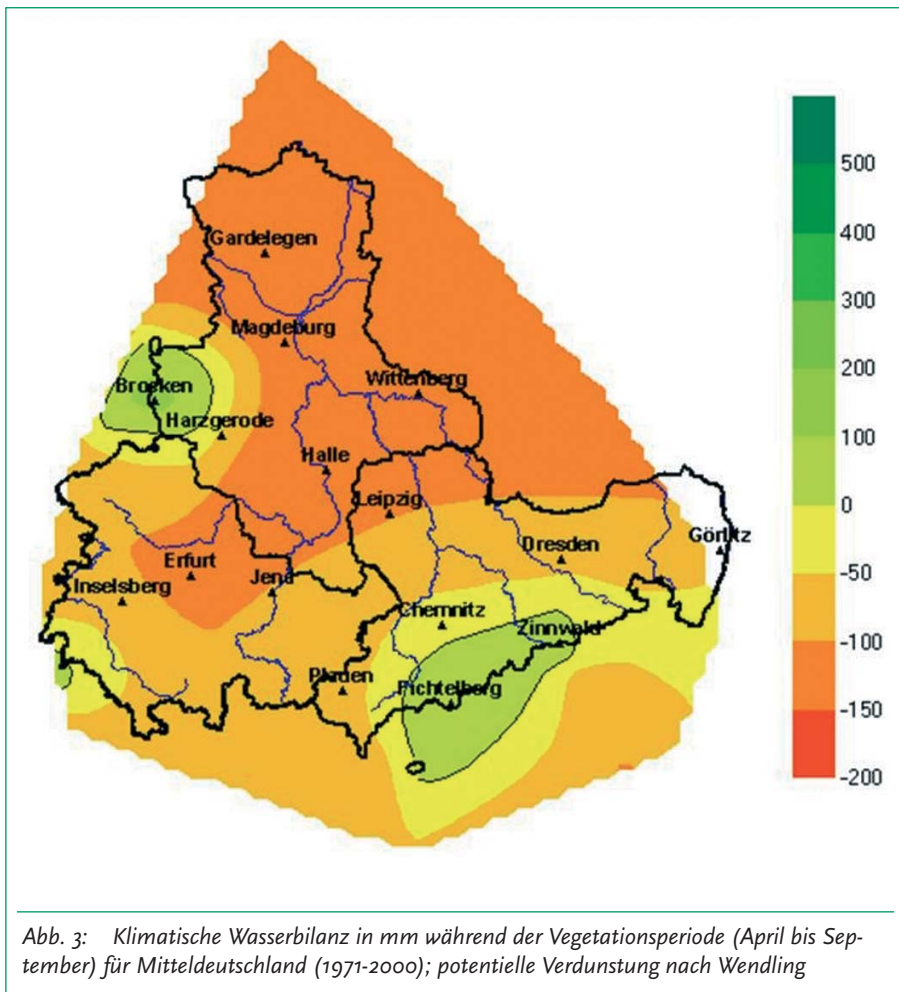
Zur Verallgemeinerung solcher Aussagen müssen Modelle herangezogen werden, typische Modellparameter und ihre Temperaturabhängigkeit sind in Abb. 2 dargestellt: Die nächtliche Atmung (ohne Berücksichtigung der Bodenfeuchte!) steigt exponentiell an, während die Tagatmung R_{day} bei höheren Temperaturen scheinbar nicht weiter zunimmt. Die Lichtnutzungseffizienz a' hat ihr Optimum zwischen 10 und 20°C, während NEE_{sat} bei ca. 20°C nicht weiter steigt oder sogar zurückgeht. Eine Temperaturerhöhung kann an diesem Standort also auch zu einer Erhöhung der C-Aufnahme führen (solange die Temperaturen nicht zu oft über 20°C steigen) und die C-Abgabe durch Atmung nicht gleichzeitig zu stark steigt.

3. Erwarteter Klimawandel in Mitteleuropa

3.1 Klimawandel im 20. Jahrhundert

Durch detaillierte regionale Untersuchungen kennen wir die bereits eingetretenen Änderungen einzelner Gebiete ziemlich genau (z. B. FRANKE et al., 2004). Dabei zeigt sich bereits in Deutschland eine Differenzierung: Während im Westen und Süden die Niederschläge im Winter so deutlich zugenommen haben, dass die Jahressumme ebenfalls steigt, sinkt im Osten Deutschlands die Regenmenge im Sommer stark, so dass ohnedies trockene Gebiete wie das Thüringer Becken oft kaum über 400 mm Jahresniederschlag erreichen. Dabei handelt es sich um einen stabilen, regionalen Trend, der sich in den letzten 50 Jahren etabliert hat. Gleichzeitig hat sich die Charakteristik der Sommerniederschläge geändert: Die Niederschläge sind seltener, von höherer Intensität und von längeren niederschlagsfreien Perioden unterbrochen (BERNHOFER und GOLDBERG, 2001).

Die Temperaturen sind ganzjährig gestiegen, im Sommer ging die Bewölkung zurück und damit die Einstrahlung hinauf. Der Verdunstungsanspruch wuchs, die klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potentieller Verdunstung) verringerte sich. Heute ist sie während der Vegetationsperiode in den Ländern Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt flächenhaft negativ (Abb. 3). Der Winterniederschlag kann das in vielen Gebieten noch kompensieren (in etwa der Bereich mit einer sommerlichen Bilanz von minus 100 mm und darunter). Damit ist die Wasserversorgung vermehrt vom Speichervermögen der Böden abhängig.

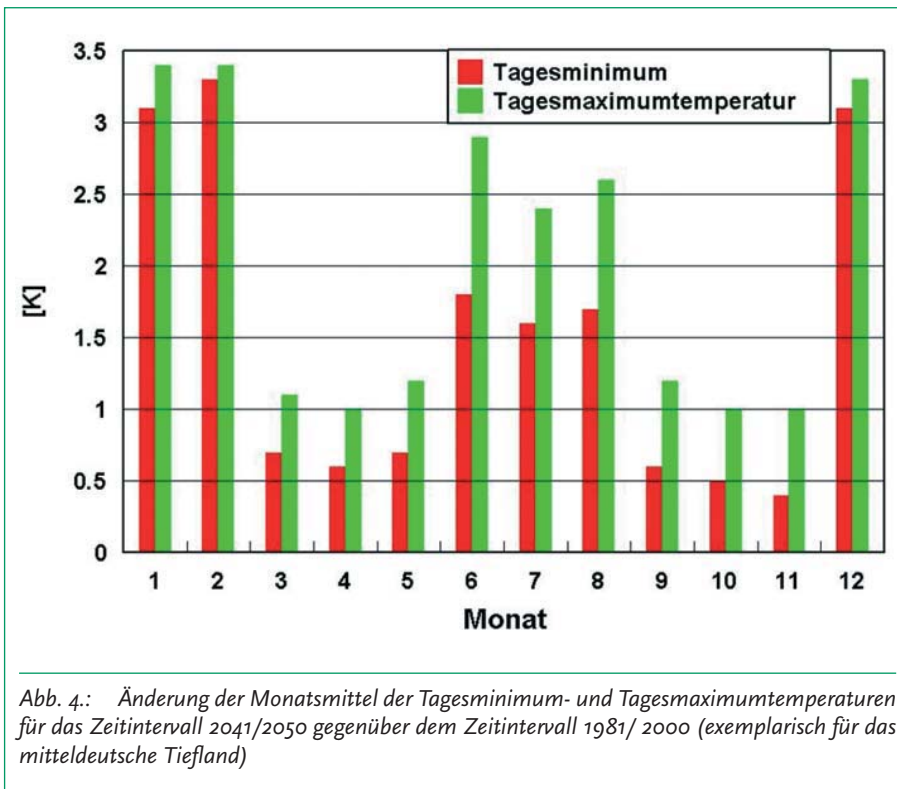


3.2 Projektionen des Klimawandels für das 21. Jahrhundert

Aus den Ergebnissen der globalen Klimamodelle können mit geeigneten Methoden (BERNHOFER et al., 2006) die zukünftigen Klimabedingungen auch regional abgeschätzt werden. Für Deutschland kamen dabei deterministische (www.dkrz.de) und statistisch-dynamische (ENKE, 1997) Methoden zum Einsatz. Nach den Arbeiten von ENKE (2001) sind praktisch alle Klimatelemente betroffen, wobei die zu erwartenden Änderungen z. T. deutlich über denen globaler Ergebnisse liegen. Hier sollen nur einige Punkte beleuchtet werden:

- Die bereits beobachteten Trends verstärken sich: Niederschlagsrückgang im Sommer bei gleichzeitiger Erhöhung der Starkniederschläge, die Mitteltemperaturen steigen weiter deutlicher im Winter als im Sommer
- Die bereits beobachteten Trends verringern sich: in den Mittelgebirgen, bes. im Erzgebirge, steigen die Winterniederschläge vermutlich kaum weiter an (ENKE et al., 2005)
- Neue Aspekte in der jahreszeitlichen Verteilung: die projizierten Temperaturänderungen bis 2050 (Abb. 4) zeigen eine deutliche Zunahme im Winter und Sommer, eine geringere im Frühjahr und Herbst, wobei die Maximaltemperaturen im Sommer um etwa 2,5 bis 3°C ansteigen, die Minimaltemperaturen nur um 1,5°C.

Nimmt man vereinfacht an, dass Trockenstress durch hohe Lufttemperaturwerte charakterisiert werden kann, bedeutet diese drastische Änderung in den sommerlichen Höchsttemperaturen eine deutliche Zunahme des Trockenstress und damit u. U. eine Reduktion der Kohlenstoffsenke in Wäldern (ähnlich dem Jahr 2003?). Gleichzeitig steigen die Chancen, im Frühjahr eine verlängerte Vegetationsperiode zum Wachstum zu nutzen. Andererseits muss vermehrt mit „Störungen“ gerechnet werden: Waldbrände werden wahrscheinlich genauso häufiger werden wie Probleme mit Schadinsekten.



4. Konsequenzen des Klimawandels für Waldökosysteme?

Der globale Klimawandel kann also bereits heute beobachtet werden und wird sich wohl noch verstärken. Das Ergebnis regionaler Projektionen in die Mitte des 21. Jahrhunderts zeigt für Deutschland, dass alle Klimaelemente von diesem Wandel betroffen sind. Niederschlag und Temperatur verändern sich wahrscheinlich so, dass z. B. für das mitteldeutsche Tiefland häufigere Trockenperioden und Trockenstress für die Vegetation zu erwarten sind. Die Wirkungen dieser Effekte können durch Waldbrände und Schadinsekten verstärkt werden, so dass die Risiken



der Holzproduktion im Wald zunehmen dürften. Die Temperaturerhöhung allein wird das Wachstum von Wäldern eher fördern, dieser mögliche positive Effekt hängt wohl vor allem von der gleichzeitigen Niederschlagsentwicklung ab. Damit zeichnet sich ein nach Höhenlage differenziertes Bild ab, bei dem artenreiche Waldökosysteme mit einem breiten Spektrum an Altersklassen und einer generell hohen ökologischen Amplitude die größte Chance haben, die zwischenjährlichen Schwankungen und die zu erwartende Zunahme von Extremen zu vertragen. Die Herausforderungen an das Waldmanagement werden durch den Klimawandel jedenfalls verstärkt – ist es doch nicht mehr möglich, die Erfahrungen aus der Vergangenheit auf die transienten Bedingungen der Zukunft anzuwenden.

Danksagung:

Wir danken dem Deutschen Wetterdienst für die Daten, den Ländern Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt für das frühe Interesse an regionalen Klimafragen und insbesondere dem CarboEurope IP für die Teilfinanzierung der Arbeiten rund um die Ankerstation Tharandt.

Literatur

- BERNHOFER, CH., FRANKE, J., GOLDBERG, V., SEEGERT J., and W. KÜCHLER (2006): Regional climate change - to be included in future flood risk analysis? In: SCHANZE, J.; ZEMAN, E.; MARSALEK, J. (Eds.): Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. Dordrecht : Springer, 2006, NATO Science Series - IV. Earth and Environmental Sciences; 67, 319 S.
- BERNHOFER, CH., GOLDBERG, V. (2001): CLISAX-Statistische Untersuchungen regionaler Klimatrends in Sachsen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Sächs. Landesamtes für Umwelt und Geologie, AZ: 3-8802.3521/48, 125 S.
- CIAIS PH., M. REICHENSTEIN N. VIOVY, A. GRANIER, et al. (2005): Unprecedented reduction in European primary productivity caused by heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529-533.
- ENKE, W. (1997) Downscaling climate model outputs into local and regional weather elements by classification and regression. *Clim. Res.*, 8: 195-207
- ENKE, W. (2001): Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen des statistischen Verfahrens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalysen für Sachsen. Abschlussbericht des Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, AZ 13-8802.3521/44
- ENKE, W., DEUTSCHLÄNDER, T., SCHNEIDER, F., KÜCHLER, W. (2005): Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations. *Met. Z.*, 14: 247-257
- FRANKE, J., GOLDBERG, V., EICHELMANN, U., FREYDANK, E., BERNHOFFER, CH. (2004): Statistical analysis of regional climate trends in Saxony. *Clim. Res.*, 27: 145-150.
- PAPALE, D., REICHSTEIN, M., AUBINET, M., CANFORA, E. BERNHOFFER, C., KUTSCH, W., LONGDOZ, B., RAMBAL, S., VALENTINI, R., VESALA, T. and D. YAKIR, 2006: Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation. *Biogeosciences*, 3, 571–583.
- REICHSTEIN, M., P. CIAIS, D. PAPALE, R. VALENTINI, et al., 2006: Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology*, 12, 1–18.
- VALENTINI, R., MATTEUCCI, G., DOLMAN, A. J., SCHULZE, E.-D., et al. (2000): Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature*, 404, 861-865.

www.waldundklima.net – Das offene Internetportal zu Wald, Holz & Klima

Ingolf Profft und Michael Seiler

Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, CarboEurope-IP/DEMO project

Jägerstraße 1, 99867 Gotha

Das Interesse der Menschen am Thema Wald ist ungebrochen und die Erwartungen der Gesellschaft an den Wald sind sehr vielgestaltig. Die jährlich veröffentlichten Zahlen zum Gesundheitszustand des Waldes werden mit regem Interesse von den Medien aufgegriffen und von der Bevölkerung zur Kenntnis genommen. Die wesentlichsten Informationen bleiben auch in Erinnerung, aber das Thema ‚Klimawandel‘ einschließlich der sich für den Wald ergebenden Folgen findet sich kaum in den Berichten wieder und wird daher auch kaum als Problem von den Menschen wahrgenommen. Ebenso sind vielen Menschen die Zusammenhänge zwischen Waldwachstum, CO₂-Aufnahme, Holz und Holzverwendung als eine Möglichkeit des direkten Klimaschutzes kaum bekannt. Die Forstwissenschaft und auch die Forstpraxis beschäftigen sich jedoch seit längerem intensiv mit diesen Themen. An vielen Instituten und Forschungseinrichtungen, bei Vereinen, bei Landesforstverwaltungen und anderen Institutionen laufen Untersuchungen, Forschungsprojekte oder regionale Arbeiten rund um den Klimawandel und die Rolle von Wald und Holz im globalen Kohlenstoffkreislauf. Jedoch ist es für den interessierten Bürger, für Schüler, Studenten, Lehrer, aber auch Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft schwierig, Zugang zu den Informationen über die Leistungen von Wald und nachhaltiger Forstwirtschaft für das Klima, aber auch über die Gefährdung der Wälder durch den Klimawandel zu bekommen. Aus diesem Grund wurde das Internetportal „Wald & Klima“ unter der Adresse <http://www.waldundklima.net> aufgebaut.

Das Hauptziel dieses Portals ist die Bündelung und thematisch gegliederte Aufbereitung der Vielzahl von Informationen zum Themenkomplex Wald – Holz – Klima und die Bereitstellung dieser in einer offenen und unabhängigen Internetplattform. Mit „Wald & Klima“ wurde die Basis für eine internetbasierte, fundierte Wissensvermittlung geschaffen, an der sich alle Forschungseinrichtungen, Institutionen, Forstverwaltungen, aber auch Projektträger, Vereine und Verbände beteiligen können und ihre Arbeiten und Ergebnisse sowie Beiträge aus der Praxis und Hintergrundinformationen rund um den dargestellten Themenkomplex präsentieren können.

Ausgehend von dem Charakter als offene und kostenfreie Wissensplattform bietet sich für die verschiedensten Institutionen die Möglichkeit, sich aktiv mit Beiträgen an www.waldundklima.net zu beteiligen.

Wenn **Sie bzw. Ihre Institution** auf dem Gebiet der Forschung zum angesprochenen Themenkomplex tätig sind, über interessante Informationen und Fakten hierzu verfügen und/oder mit Projekten im Bereich der Forstwirtschaft oder der Holznutzung aktiv zur CO₂-Entlastung der Atmosphäre beitragen, möchten wir Sie einladen, sich an der inhaltlichen Ausgestaltung dieser Plattform zu beteiligen. Auf diese Weise besteht die Chance, die Bedeutung der Wälder der Erde, deren Schutz und nachhaltige Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes Holz für das Klima möglichst umfassend darzustellen, aber auch auf die Grenzen einer gezielten Kohlenstoffbindung und -speicherung im Ökosystem Wald und die Gefahren, die sich aus einer Klimaerwärmung für den Wald ergeben, einzugehen. Einzige Voraussetzung für eine Beteiligung an dem Internetportal „Wald & Klima“ ist die Bereitschaft zu Kooperation und Vernetzung. Dies kann zum einen auch die Dringlichkeit für ein aktives Handeln verdeutlichen und zusätzlich zu einer aktiven (Mit)Arbeit bei bisher noch passiven potentiellen Handlungspartnern führen. Zum anderen zeigt dies, dass sich die einzelnen Handlungspartner nicht aus reinem Eigeninteresse im Sinne einer Existenzberechtigung mit diesem Thema beschäftigen, sondern der Schutz des Klimas nur gemeinsam unter Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Mittel, Möglichkeiten und Ansätze zukunftsweisend und langfristig erreicht werden kann.

