

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 159 (2008)

Heft: 9

Artikel: Sinn und Unsinn der Anrechnung von Waldsenken im Kyoto-Protokoll (Essay)

Autor: Bugmann, Harald

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097895>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Sinn und Unsinn der Anrechnung von Waldsenken im Kyoto-Protokoll (Essay)

Harald Bugmann Waldökologie, Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)*

Sense and nonsense of using forests as carbon sinks in the Kyoto Protocol (essay)

According to the Kyoto Protocol, biological carbon sinks can be used as a means of partially achieving national emission reduction targets. In this paper, I evaluate 1) the historical development of human impacts on the terrestrial carbon balance, 2) the resulting differences in baseline conditions in different parts of the world and for different nations, and 3) key aspects of the sustainability of accounting biological carbon sinks regarding the long-term development of the greenhouse effect.

Humankind has been influencing the greenhouse gas balance of the Earth for much longer than the past 100 to 150 years in a regionally highly differentiated manner. Forests play an important role as C sinks in most temperate zone countries today, but their sink strength results mainly from historical over-exploitation and thus should be regarded as "compensation" rather than a generic achievement of humankind in general, or forest management in particular.

Although accounting for biological C sinks for achieving national emission reduction targets appears positive at first sight, I conclude that this practice tends to obstruct problem solving, rather than fostering it. Considerations on the sustainability, ethics and efficiency and on the equitability of this accounting suggest that the two issues should be considered separately, without implying that forest protection would be of lesser importance, nor that biological C sinks would be of a marginal value.

Keywords: land use history, recovery of forests, carbon storage capacity, ethics, efficiency

doi: 10.3188/szf.2008.0267

* ETH Zürich, Universitätsstrasse 16, CH-8092 Zürich, E-Mail harald.bugmann@env.ethz.ch

Terrestrische Ökosysteme spielen im globalen Kohlenstoffkreislauf eine besondere Rolle, denn sie enthalten ähnlich viel Kohlenstoff in der lebenden Biomasse wie die Atmosphäre (Waring & Running 1998). Ungefähr 80% des Biomassen-Kohlenstoffs ist im Wald zu finden. Wenn man – was nur in einem Gedankenexperiment möglich ist – die gesamte Baumbiomasse auf einen Schlag verbrennen würde, so würde dies augenblicklich zu einer ungefähren Verdoppelung des atmosphärischen Kohlendioxidgehaltes führen.

Neben den grossen Mengen an Kohlenstoff, welche im Wald gespeichert werden, ist ebenfalls bemerkenswert, dass die Kohlenstoffumsatzraten zwischen Atmosphäre und Biosphäre sehr gross sind, da jedes Jahr riesige Mengen an Kohlendioxid durch Fotosynthese gebunden und durch Atmung wieder freigesetzt werden (Wolf 2008, in diesem Heft). Somit ist der Wald, trotz der langen Lebensdauer der Bäume, ein sehr reaktives System, was Veränderungen im Kohlenstoffgehalt angeht.

Auch geringe Veränderungen der globalen Waldfläche oder der im Wald gespeicherten Kohlenstoffmenge beeinflussen deshalb den atmosphärischen Kohlendioxidgehalt und den Treibhauseffekt in erheblichem Mass. Wälder haben somit einen wichtigen Rückkopplungseffekt auf das Klimageschehen. Aus diesen Gründen ist aus Sicht des Treibhauseffektes die Umwandlung von Waldflächen in andere Landnutzungskategorien, insbesondere die landwirtschaftliche Nutzung in den Tropen, ein bedeutender Grund zur Sorge (Houghton 2005). Umgekehrt ist es möglich, durch die Vergrösserung der Waldfläche oder die Erhöhung des Vorrates in bestehenden Wäldern eine Kohlenstoffsenke zu erhalten, welche die Treibhausgasbilanz eines Landes unter Umständen erheblich zu beeinflussen vermag.

Im vorliegenden Beitrag erörtere ich 1) die historische Entwicklung der Beeinflussung der terrestrischen Kohlenstoffbilanz durch den Menschen, 2) die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Ausgangslagen in verschiedenen Weltregionen respek-

tive auch auf nationaler Ebene und 3) Aspekte der Nachhaltigkeit der Anrechnung biologischer Kohlenstoffsenken bezüglich der langfristigen Entwicklung des Treibhauseffekts. Ich ziehe daraus Schlussfolgerungen aus ethischer Sicht, welche nicht den heutigen politischen Vereinbarungen zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls entsprechen, und ohne die politischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Ich tue dies in der Hoffnung, dass die Vereinbarungen dadurch differenzierter betrachtet werden. Selbstverständlich sind die erzielten Vereinbarungen als Ergebnis eines realpolitischen Prozesses mit (grossen) Kompromissen verbunden.

Beeinflussung der terrestrischen Kohlenstoffbilanz durch den Menschen

In der öffentlichen Debatte spricht man üblicherweise von der Zunahme des atmosphärischen Kohlendioxidgehaltes seit Beginn der industriellen Revolution, vor allem seit Mitte des 19. Jahrhunderts, und verweist auf den vorindustriellen Kohlendioxidgehalt von etwa 280 ppm. Mittlerweile sind wir bei rund 390 ppm angelangt, also beinahe 40% mehr.

Der Mensch beeinflusst die Kohlenstoffbilanz des Planeten Erde und somit indirekt das Klima aber nicht erst seit 100 bis 150 Jahren, sondern mit ziemlicher Sicherheit schon weit länger: Ruddiman (2003) hat postuliert, dass ein globaler anthropogener Effekt auf den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre im Bereich von rund 35 bis 40 ppm bereits seit Beginn der landwirtschaftlichen Nutzung (also seit ca. 6000 Jahren) nachweisbar ist. Seine Aussagen haben zwar zu einer heftigen wissenschaftlichen Debatte über die genauen Mechanismen und die exakte Gröszenordnung dieses Effektes geführt (z.B. Ruddiman

2005), grundsätzlich wurden seine Aussagen aber nicht bestritten. Diese Untersuchungen zeigen, dass der Mensch schon längst seinen Fingerabdruck in der Atmosphäre hinterlässt, sowohl bezüglich Kohlendioxid (CO₂) als auch Methan (CH₄).

Im europäischen Kontext wurde nachgewiesen, dass beispielsweise die Lage der oberen Waldgrenze in den Alpen nicht erst seit ein paar Jahrhunderten, sondern schon seit rund 4500 Jahren mindestens lokal durch den Menschen stark beeinflusst wird (Tinner & Theurillat 2003, Heiri et al 2006). In der Landschaft Davos (Laely 1984) und an vielen anderen Orten wurden bereits im 15. Jahrhundert Banne erlassen, da der Wald offenbar zu einer knappen Ressource geworden war. Wie sich diese Veränderungen der Landoberfläche und die Nutzungsintensivierung im Wald (Gimmi & Bürgi 2007) auf die Kohlenstoffbilanz auswirkten, ist im Detail nicht bekannt. Sie ist vermutlich aber nicht vernachlässigbar. Damit besteht heute in vielen Ländern ein erhebliches Potenzial, die nationalen Kohlenstoffbilanzen zu beeinflussen, indem diese historischen Nutzungsmuster sowohl durch die Vergrösserung der Waldfläche als auch die Extensivierung der Nutzung im bestehenden Wald umgekehrt werden.

Es ist aber wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass der anthropogene Einfluss in verschiedenen Teilen der Erde zu ganz verschiedenen Zeitpunkten begonnen hat. Wie oben ausgeführt, war dies in vielen heute industrialisierten Ländern – so zum Beispiel in Europa – schon vor Jahrtausenden der Fall. In den meisten heutigen Entwicklungsländern hingegen dürfte diese Beeinflussung erst mit der Kolonialisierung durch die europäischen Mächte ein merkliches Ausmass erreicht haben. Sie begann dort also ungefähr im 15. Jahrhundert und erreichte eine erhebliche Bedeutung ab dem 17. Jahrhundert.

Konsequenzen für den heutigen Zustand und die Dynamik der Wald-ökosysteme

Die oben beschriebene Ausgangslage hat dazu geführt, dass Landökosysteme in den verschiedenen Regionen der Erde sich in ganz verschiedenen Entwicklungsphasen befinden. Die industrialisierten Länder der gemässigten Zone auf der Nordhalbkugel (mit Ausnahme Russlands respektive der Sowjetunion) haben die Phase der intensiven Nutzung respektive Übernutzung der Ressource Wald bereits vor ungefähr 100 Jahren hinter sich gelassen. Mit den ersten Waldgesetzgebungen in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde in den meisten Ländern die Waldfläche geschützt und die Übernutzung des vorhandenen Waldes eingeschränkt. Nach dem 2. Weltkrieg wurden zusätzlich – vor allem in Gebirgsregionen – Grenzertragslagen in der Landwirtschaft



Abb 1 Anstieg der oberen Waldgrenze im ETH-Lehrwald Sedrun (Uaul Bugnei) als Folge der Aufgabe der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung nach dem 2. Weltkrieg. Foto: G. Bolli (2003)

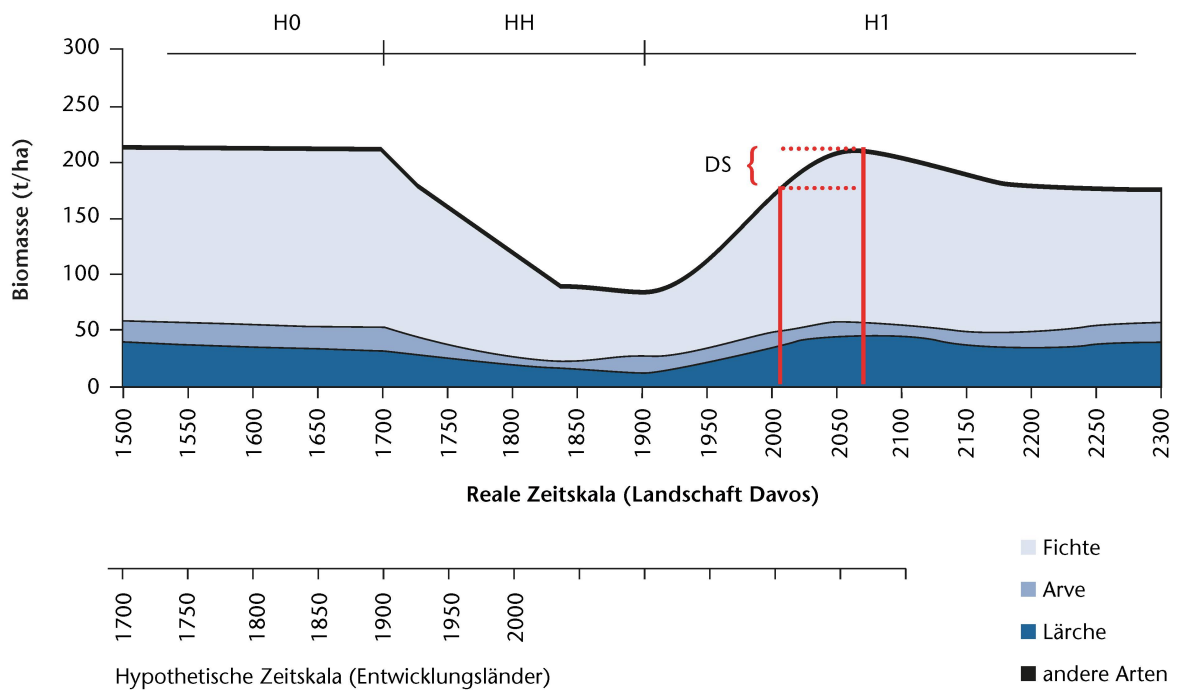


Abb 2 Zeitlicher Verlauf der Waldbiomasse (entspricht ungefähr dem halben Vorrat in m^3/ha) als Mittelwert über das Dischmatal bei Davos unter unbewirtschafteten Bedingungen (Szenario H0), einer intensiven historischen Bewirtschaftung, welche bis zum Ende des 19. Jahrhunderts zu einer massiven Reduktion der Vorräte führte (HH), sowie einer extensiven Bewirtschaftung, die für das 20. Jahrhundert charakteristisch ist (H1). Ausgehend von der heutigen Waldbiomasse ist nur noch eine geringe zusätzliche Kohlenstoffsenke zu erwarten (DS). In vielen Entwicklungsländern ist diese Dynamik hingegen heute in der Phase der Vorratsabnahme (siehe zweite, hypothetische Zeitskala), sodass eine wesentlich grössere, allerdings aufgrund des Landnutzungsdrucks derzeit nur theoretische Kohlenstoffsenkenkapazität besteht. Simulationsergebnisse aus Schumacher (2004).

aufgegeben, da die besser geeigneten Flächen dank der grünen Revolution ein Mehrfaches an Ertrag abwarfen und die Globalisierung zudem einen intensiven Handel mit Agrarprodukten ermöglichte. Dies führte zu einer spontanen Wiederbewaldung vieler ehemals landwirtschaftlich genutzter Flächen (Abbildung 1). Letztendlich befinden wir uns also heute in einer Phase der Erholung der Waldökosysteme nach einer Zeit der massiven (Über-)Nutzung (Abbildung 2).

Aus diesen Gründen weisen die meisten industrialisierten Länder heute eine zunehmende Waldfläche und auch zunehmende Kohlenstoffgehalte im vorhandenen Wald auf. Die Schweiz ist in dieser Hinsicht ein besonders illustratives Beispiel. Bei uns nimmt die Waldfläche seit 150 Jahren zu, in den letzten 21 Jahren im Durchschnitt um 0.38% pro Jahr.¹ Dieser Trend ist ähnlich wie in vielen anderen europäischen Ländern. Im Fall der Schweiz ist aber speziell, dass die Vorräte mit $360 m^3/ha$ bereits sehr hoch sind. Der europäische Durchschnitt (inkl. europäischer Teil von Russland) ist viel tiefer und liegt bei gut $110 m^3/ha$ (FAO 2005).

In vielen Entwicklungsländern hingegen dauert die Übernutzung der Ressource Wald bis heute an (Houghton 2005, Abbildung 3). Sie dürfte in Anbetracht der Bevölkerungszunahme, des steigenden Lebensstandards und des damit verbundenen zunehmenden Ressourcenbedarfs in absehbarer Zukunft auch kaum abnehmen. Deshalb sind die Ökosysteme in vielen Entwicklungsländern heute Kohlenstoffquellen, ähnlich wie sie es in den europäischen Ländern bis zum 19. Jahrhundert waren. Aufgrund der nutzungsbedingt tiefen Vorräte im vorhandenen Wald und der Verfügbarkeit vieler waldfähiger, derzeit unbewaldeter Flächen besteht in etlichen dieser Länder aber ein grosses Potenzial, Kohlenstoffsenken aufzubauen (Abbildung 2, zweite, hypothetische Zeitskala). Eine Konsequenz aus dieser Situation ist, dass in den verschiedenen Ländern der Erde ganz unterschiedliche Voraussetzungen bestehen bezüglich der Möglichkeit, ihre Kohlenstoffsenken im Rahmen des Kyoto-Protokolls anzurechnen (Artikel 3.3 Wiederbewaldung, Artikel 3.4 Waldbewirtschaftung).

¹ WSL (2007) Erste Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3. Wissenschaftliche Fakten zur Medienkonferenz WSL/Bafu vom 9. November 2007 in Bern. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 12 p.

Waldschutz und anthropogene Kohlenstoffemissionen: Traumpaar oder Mesalliance?

Aufgrund der Bedeutung der Wälder für die globale Kohlenstoffbilanz ist es offensichtlich, dass der Schutz des vorhandenen Waldes eine eminent wichtige Massnahme im Klimaschutz darstellt (Abbildung 4). Verschiedene Studien haben nachgewiesen, dass der Erhalt der Kohlenstoffspeicher im vorhandenen Wald viel effizienter ist als die Neubegegründung von Wald (z.B. Schulze et al 2000). Es ist aber sicher auch sinnvoll, auf nationaler und internationaler Ebene die Ausdehnung der Waldfläche zu fördern, so weit dies mit anderen gesellschaftlichen Ansprüchen vereinbar ist. Dieser Waldschutz, respektive vor allem die Vergrößerung der Waldfläche, ist auch als teilweise «Wiedergutmachung» von früheren Ökosystem-Umnutzungen und -Übernutzungen zu sehen, welche seit langer Zeit stattfinden.

Gleichzeitig ist auch klar, dass die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Gas, Erdöl) reduziert werden müssen, wenn eine «gefährliche Beeinflussung des Klimasystems durch den Menschen»² verhindert werden soll. Für eine Begrenzung der globalen Temperaturzunahme auf +2 °C gegenüber heutigen Bedingungen wäre eine Reduktion der Emissionen um (nicht auf!) rund 80% nötig (Solomon et al 2007). In Anbetracht des herkulischen Ausmasses dieser Aufgabe liegt der Schluss nahe, einen Teil der Netto-Emissionsreduktion mit biologischen Kohlenstoffspeichern zu bewerkstelligen, da für die Atmosphäre kein Unterschied zwischen einem nicht emittierten und einem vom Wald aufgenommenen CO₂-Molekül besteht: Es befindet sich einfach ein Molekül weniger in der Atmosphäre. Die Vorstellung, dass die Wirkung bio-

logischer Kohlenstoffspeichern zusammen mit der tatsächlichen Reduktion der Emissionen Hand in Hand gehen und gemeinsam die Reduktionsziele erreichen lassen, lässt diese Kombination deshalb oft als Traumpaar erscheinen. Ist dem auch so? Dass eine solche Verquickung für mich kein Traumpaar, sondern eher eine Mesalliance ist, versuche ich nachfolgend darzulegen:

Erstens ist diese Verrechnung letztlich nicht nachhaltig, da die Bäume bekanntlich nicht in den Himmel wachsen und daher alle biologischen Kohlenstoffspeichern endlich sind. Ausserdem dürften wir in Ländern wie der Schweiz schon relativ bald an die Grenzen der Speicherkapazität gelangen (Abbildung 2). Zwar ist die Bestimmung der Speicherkapazität mit recht grossen Unsicherheiten behaftet, aber verschiedene Studien, welche auf unterschiedlichen Modellen basieren, haben für die Schweiz ähnliche Werte errechnet (Schumacher & Bugmann 2006, Schmid et al 2006, Zierl & Bugmann 2007). Längerfristig bleibt also ohnehin kein anderer Weg als jener der drastischen Reduktion der Emissionen aus fossilen Energieträgern.

Zweitens ist die Verrechnung aus meiner Sicht ethisch fragwürdig und behindert eine echte Problemlösung. Alle Nationen, ganz besonders aber die Industrieländer, sollten umgehend grösste Anstrengungen unternehmen, um die Ursachen der anthropogenen Klimaerwärmung zu bekämpfen. Diese liegen in den Industrieländern eindeutig bei den Emissionen aus fossilen Energieträgern. Wenn biologische Kohlenstoffspeichern anrechenbar sind, so machen wir mindestens teilweise Symptombekämpfung, statt die Ursachen anzugehen. Es ist zwar richtig, dass es Zeit braucht, bis die Emissionsreduktion tatsächlich greift, da a) der Gesetzgebungsprozess nicht von heute auf morgen funktioniert, b) technologische Innovation Zeit braucht und c) auch die Durchsetzung neuer Technologien auf breiter Front nicht im Handumdrehen erfolgen kann (z.B. energetische Umrüstung des Gebäudeparks). Aus dieser Perspektive wäre das Prinzip des «Auf-Zeit-Spielens» mit biologischen Kohlenstoffspeichern sinnvoll. Es ist aber zu befürchten, dass dies im Politikprozess dazu führt, dass die nötigen Anreize und Massnahmen zur effektiven Emissionsreduktion dann nicht mit der nötigen Dringlichkeit angegangen werden. Um nicht unnötig Zeit zu verlieren, ist meines Erachtens daher eine Entflechtung der Kohlenstoffquellen aus fossilen Energieträgern und der biologischen Kohlenstoffspeichern nötig. Unabhängig davon besteht aber sicher ein nicht zu vernachlässigender klimatischer Nutzen der biologischen Kohlenstoffspeichern.

² vgl. Artikel 2 der Klima-Rahmenkonvention der UNO (United Nations Framework Convention on Climate Change), online verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (6.07.2008).



Abb 3 Wanderfeldbau mit Brandrodung im Bergregenwaldgebiet bei Andasibe (Madagaskar). Foto: J.-P. Sorg (1995)



Abb 4 Wälder können grosse Mengen an Kohlenstoff speichern. Ungestörte gemässigte Regenwälder an der Nordwestküste der USA erreichen beispielsweise Vorräte von mehr als 1500 m³/ha. Im Bild eine Küstenfichte (*Picea sitchensis*) mit einem Brusthöhendurchmesser von über 3 m.

Drittens ist die Verrechnung auch ungerecht, da verschiedene Länder aus historischen Gründen ganz unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung biologischer Kohlenstoffsenken haben. Länder, welche in der Vergangenheit ihre Waldfläche drastisch reduzierten (wie z.B. Holland) oder bis in die jüngste Vergangenheit ihren Wald sehr intensiv bewirtschafteten und somit heute geringe Vorräte aufweisen (z.B. Russland), haben erheblichen Spielraum bei der Anrechnung der biologischen Kohlenstoffsenken. Hingegen ist er in Ländern wie beispielsweise der Schweiz, wo die Waldfläche und der Vorrat bereits heute hoch sind, sehr gering geworden (Abbildung 2). Dies wird eindrücklich illustriert durch die Vorratzzunahme. Sie betrug in der Schweiz zwischen den ersten beiden Landesforstinventaren rund

³ WSL (2007) Erste Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3. Wissenschaftliche Fakten zur Medienkonferenz WSL/Bafu vom 9. November 2007 in Bern. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 12 p.

4.6 Mio. m³/Jahr (Brassel & Brändli 1999). Die Veränderung zwischen dem zweiten und dem dritten Landesforstinventar liegt aber nur noch bei rund 1 Mio. m³/Jahr,³ einerseits wegen des Sturms Lothar inklusive Folgeschäden, andererseits aber auch wegen der gestiegenen Nutzungsintensität. Jedenfalls ist die Vorratzzunahme zwischen LFI2 und LFI3 geringer als die gemäss Kyoto-Protokoll in der Schweiz maximal anrechenbare biologische Kohlenstoffsenke von 0.5 Mt C/Jahr (= 1.83 Mio t CO₂/Jahr; Wolf 2008, in diesem Heft).

Übers Ganze gesehen ist meines Erachtens klar, dass die Erhaltung des vorhandenen Waldes auf unserem Planeten und die Förderung der Ausdehnung der Waldfläche sehr wichtige Aspekte des Klimaschutzes sind, dass sie aber in keiner Art und Weise ein Heilmittel für die anthropogene Klimaänderung darstellen und insbesondere nicht mit der Verpflichtung verrechnet werden sollten, die Kohlenstoffquellen (Emissionen) aus fossilen Energieträgern zu reduzieren. ■

Eingereicht: 6. Januar 2008, akzeptiert (mit Review): 7. Mai 2008

Literatur

- BRASSEL & BRÄNDLI, EDITORS (1999) Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.
- FAO (2005) Global forest resources assessment 2005. Rome: Food and Agriculture Organization, Forestry Paper 147. 320 p.
- GIMMI U, BÜRGI M (2007) Using oral history and forest management plans to reconstruct traditional non-timber forest uses in the Swiss Rhone valley (Valais). *Environ Hist* 13: 211–246.
- HEIRI C, BUGMANN H, TINNER W, HEIRI O, LISCHKE H (2006) A model-based reconstruction of Holocene treeline dynamics in the Central Swiss Alps. *J Ecol* 94: 206–216.
- HOUGHTON RA (2005) Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Glob Chang Biol* 11: 945–958.
- LAELY A (1984) Davoser Heimatkunde. Beiträge zur Geschichte der Landschaft Davos. Davos: Genossenschaft Davoser Revue. 275 p.
- RUDDIMAN WF (2003) The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Clim Chang* 61: 261–293.
- RUDDIMAN WF (2005) The early anthropogenic hypothesis a year later. *Clim Chang* 69: 427–434.
- SCHMID S, THÜRIG E, KAUFMANN E, LISCHKE H, BUGMANN H (2006) Effect of forest management on future carbon pools and fluxes: A model comparison. *For Ecol Manage* 237: 65–82.
- SCHULZE ED, WIRTH C, HEIMANN M (2000) Managing forests after Kyoto. *Science* 289: 2058–2059.
- SCHUMACHER S (2004) The role of large-scale disturbances and climate for the dynamics of forested landscapes in the European Alps. Zürich: Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis. 149 p.
- SCHUMACHER S, BUGMANN H (2006) The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Glob Chang Biol* 12: 1435–1450.

- SOLOMON S ET AL, EDITORS (2007) *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 996 p.
- TINNER W, THEURILLAT JP (2003) Uppermost limit, extent, and fluctuations of the timberline and treeline ecocline in the Swiss Central Alps during the past 11 500 Years. *Arct, Antarct, Alp Res* 35: 158–169.
- WARING RH, RUNNING SW (1998) *Forest ecosystems: analysis at multiple scales*. San Diego: Academic Press. 370 p.
- WOLF A (2008) Die Kohlenstoff-Senkenkapazität des Schweizer Waldes. *Schweiz Z Forstwes* 159: 273–280. doi: 10.3188/szf.2008.0273
- ZIERL B, BUGMANN H (2007) Sensitivity of carbon cycling in the European Alps to changes of climate and land cover. *Clim Chang* 85: 195–212.

Sinn und Unsinn der Anrechnung von Waldsenken im Kyoto-Protokoll (Essay)

Gemäss Kyoto-Protokoll kann ein Teil der nationalen Emissionsreduktion mit Hilfe biologischer Kohlenstoffsinken erfolgen. Im vorliegenden Beitrag erörtere ich 1) die historische Entwicklung der Beeinflussung der terrestrischen Kohlenstoffbilanz durch den Menschen, 2) die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Ausgangslagen in verschiedenen Weltregionen resp. auf nationaler Ebene und 3) Aspekte der Nachhaltigkeit bei der Anrechnung biologischer Kohlenstoffsinken im Hinblick auf die langfristige Entwicklung des Treibhaus-effekts.

Der Mensch beeinflusst die Treibhausgasbilanz der Erde schon weit länger als 100 bis 150 Jahre, und zwar in einer regional sehr stark differenzierten Weise. Wald als Kohlenstoffsenke spielt in den meisten Ländern der gemässigten Zone eine quantitativ bedeutende Rolle, die Senkenwirkung ist jedoch in erster Linie eine Folge der historischen Übernutzung der Ökosysteme und somit als Wiedergutmachung an der Natur und weniger als generische Leistung des Menschen resp. der Waldbewirtschaftung zu sehen.

Obwohl die Anrechnung biologischer Kohlenstoffsinken zur Erreichung der nationalen Emissions-Reduktionsziele auf den ersten Blick sehr positiv erscheint, tendiert diese Verrechnung meiner Ansicht nach dazu, eine echte Problemlösung zu verhindern statt sie zu befördern. Überlegungen zur Nachhaltigkeit, zur Ethik und Effizienz sowie zur Gerechtigkeit dieser Verrechnung legen nahe, dass eine Entflechtung von biologischen Kohlenstoffsinken und Emissionsreduktion aus fossilen Energieträgern anzustreben ist, ohne dass damit der Waldschutz geschwächt oder die Bedeutung der biologischen Kohlenstoffsinken marginalisiert werden soll.

Sens et non-sens de l'utilisation des forêts comme puits de carbone dans le Protocole de Kyoto (essai)

Selon le Protocole de Kyoto, les émissions de chaque pays peuvent être partiellement réduites grâce à des puits de carbone biologiques. Dans le présent article, j'expose 1) l'influence humaine sur les bilans de carbone terrestre dans le passé, 2) les situations actuelles qui en découlent dans les différentes régions, resp. pays du globe et 3) les questions de durabilité de tels puits face au développement à long terme des effets de serre.

L'influence humaine sur le bilan des gaz à effet de serre est nettement antérieure à 100 à 150 ans, avec de fortes disparités régionales. La forêt des pays de la zone tempérée représente généralement un puits de carbone quantitativement important; toutefois, cet effet est dû avant tout à une surexploitation des écosystèmes par le passé. Aussi, il est plus à considérer comme une «phase de récupération» de la nature que comme le fruit d'une volonté humaine ou de la gestion forestière.

Bien que, de prime abord, le recours aux puits de carbone biologiques puisse paraître adéquat pour atteindre les objectifs nationaux de réduction des émissions, cette pratique me paraît ajourner une véritable résolution des problèmes plutôt que la stimuler. Des réflexions sur le développement durable, l'éthique, l'efficacité et l'équité d'une telle pratique portent à croire qu'une distinction claire des sources de carbone d'origine fossile et des puits de carbone biologiques est préférable. Cela ne signifie pas pour autant qu'il faille négliger la conservation de la forêt ou minimiser l'importance de tels puits.