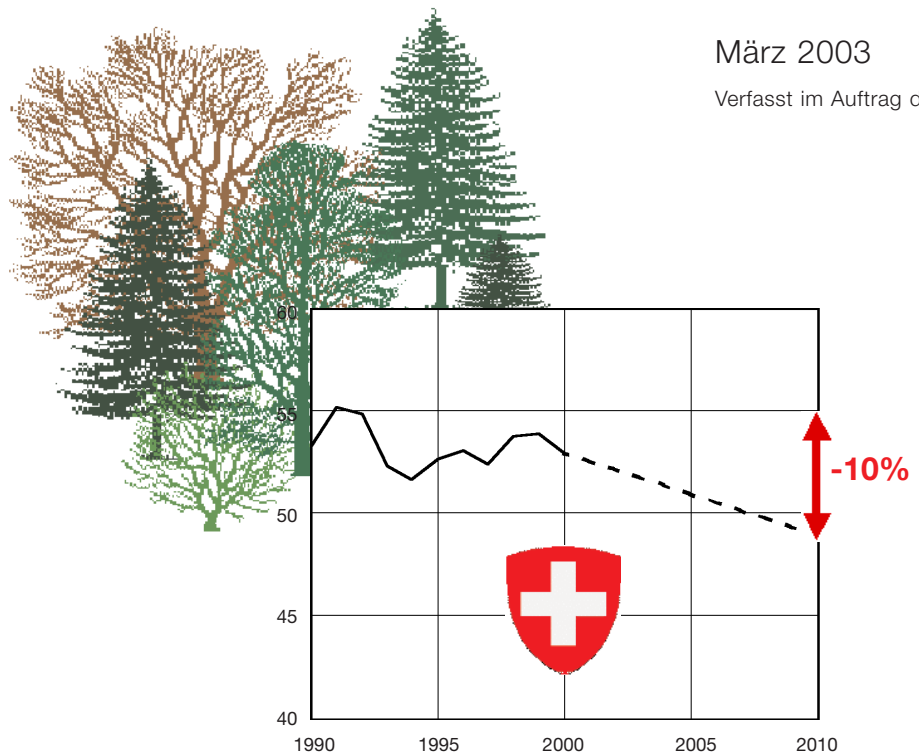


A. Fischlin, B. Buchter
L. Matile, K. Ammon, E. Hepperle
J. Leifeld und J. Fuhrer

Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz

März 2003

Verfasst im Auftrag des BUWAL



Die Berichte der Systemökologie sind entweder Vorabdrucke oder technische Berichte. Die Vorabdrucke sind Artikel, welche bei einer wissenschaftlichen Zeitschrift zur Publikation eingereicht worden sind; zu einem möglichst frühen Zeitpunkt sollen damit diese Arbeiten interessierten LeserInnen besser zugänglich gemacht werden. Die technischen Berichte dokumentieren erschöpfend Forschungs- und Entwicklungsergebnisse von allgemeinem Interesse. <http://www.ito.umnw.ethz.ch/SysEcol>

Adresse der Autoren:

A. Fischlin, B. Buchter, L. Matile, K. Ammon
Fachgruppe Systemökologie
Institut für Terrestrische Ökologie
Departement für Umweltnaturwissenschaften
ETH Zürich
Grabenstrasse 3
CH-8952 Schlieren/Zürich

E. Hepperle
Fachbereich Bodenschutz
Institut für Terrestrische Ökologie
Departement für Umweltnaturwissenschaften
ETH Zürich
Grabenstrasse 3
CH-8952 Schlieren/Zürich

J. Leifeld, J. Fuhrer
Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)
Lufthygiene/Klima
Reckenholzstrasse 191
CH-8046 Zürich/Reckenholz

Korrespondierender Autor:

<mailto:andreas.fischlin@ito.umnw.ethz.ch>

Zitierung:

Fischlin, A., Buchter, B., Matile, L., Ammon, K., Hepperle, E., Leifeld, J. & Fuhrer, J., 2003. *Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz*. Verfasst im Auftrag des BUWAL. Systems Ecology Report No. 29, Institut für Terrestrische Ökologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Schweiz: 86 pp.

2. korrigierte Auflage 2004

Titelbild: CO₂-Emissionen der Schweiz (in Megatonnen) von 1990 bis Gegenwart und projizierter Verlauf bis 2010 gemäss CO₂-Gesetz und Kyoto Protokoll (Quelle Treibhausgasinventar BUWAL).

VORWORT DES AUFTRAGGEBERS

Das Kyoto Protokoll sieht die Möglichkeit vor, Senken für die Erfüllung der Klimaverpflichtung anzurechnen. Das heisst, dass zusätzlich zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen die Kohlenstoffaufnahme und -speicherung in Wäldern oder landwirtschaftlichen Böden gefördert werden kann. Der Stellenwert der Senken für die Klimapolitik ist umstritten. Einige Länder messen ihnen eine grosse Bedeutung zu. An den Klimakonferenzen wurde deshalb intensiv über ihre Anrechenbarkeit diskutiert. Auch in der Schweiz hat das Thema schon in die politische Diskussion Eingang gefunden. Zur Zeit ist offen, in welchem Ausmass die Anrechnung von Senken zur Erfüllung der Kyoto Verpflichtung für die Schweiz möglich und auch zweckmässig ist.

Die Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff in der Biosphäre war bis vor wenigen Jahren kein prioritäres wissenschaftliches Untersuchungsobjekt. Dementsprechend sind unsere Kenntnisse unvollständig und Daten nur beschränkt verfügbar. Es ging bei der vorliegenden Arbeit darum, eine Bestandaufnahme des vorhandenen Wissens zu den folgenden Fragen zu machen:

1. Was wissen wir über die Kohlenstoffspeicherung in der Biosphäre der Schweiz?
2. Welche Möglichkeiten gibt es, diese zu erhöhen und so für die Erfüllung der Kyoto-Verpflichtung nutzbar zu machen?
3. Was wissen wir über die ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen, wenn die Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern oder in landwirtschaftlichen Böden aktiv erhöht und konserviert werden soll?
4. Welche weiteren Grundlagen braucht es, damit die Schweiz in der Lage sein wird, Senken gemäss den Rahmenbedingungen des Kyoto-Protokolls anzurechnen?

Der vorliegende Bericht beinhaltet eine Zusammenstellung des aktuellen Wissensstandes. Die Arbeit der Autoren wurde von einer Gruppe mit breitem Wissensspektrum kritisch begleitet. Der Inhalt liegt in der Verantwortung der Autoren und muss nicht notwendigerweise die Haltung des BUWAL repräsentieren. Das BUWAL dankt den Autoren für ihre seriöse und aufwändige Arbeit.

VORWORT DES PROJEKTLEITERS

Die Schweiz ist im Begriff das Kyoto-Protokoll zu ratifizieren. Die Mehrheit der beteiligten Länder hat dies schon getan und seit dem Weltgipfel in Johannesburg zeichnet sich ab, dass das Kyoto-Protokoll die erforderlichen Quoten erreichen wird. Es ist also damit zu rechnen, dass es in absehbarer Zeit in Kraft tritt und völkerrechtlich verbindlich wird.

Die vorangehenden Verhandlungen im Rahmen der Klimakonvention UNFCCC¹ haben ergeben, dass zur Erfüllung der Reduktionsverpflichtungen gemäss dem Kyoto-Protokoll auch gewisse Massnahmen verrechenbar werden, die eine Erhöhung ökosystemarer Senken für Treibhausgase zur Folge haben. Ökosysteme wie Wälder, Wiesen oder Äcker spielen für das Klima eine wechselseitige Rolle. Einerseits können insbesondere Wälder die Rolle von Senken für das Treibhausgas CO₂ spielen. Andererseits können Störungen, z. B. ein Sturm ähnlich wie Lothar, dazu führen, dass die gleichen Ökosysteme, die vorgängig Kohlenstoff gespeichert haben, auf einmal zu Treibhausgasquellen werden. Die exakte Rolle, welche Ökosysteme im sogenannten Klimasystem spielen, ist deshalb Gegenstand aktueller, wissenschaftlicher Forschung. Zudem ist vorderhand noch nicht im Einzelnen klar, wie in der Praxis Senken oder Quellen technisch erfasst werden sollen. Schliesslich und nicht zuletzt war und bleibt die Berücksichtigung der Senken auch aus politischen Gründen stark umstritten. Für die schweizerische Verwaltung unter der Federführung des BUWAL ergab sich damit die Notwendigkeit, über aussagekräftige Grundlagen zur Beurteilung der Möglichkeiten, der Zweckmässigkeit und der Rahmenbedingungen bei der Nutzung von Senken zu verfügen. Dazu galt es, die damit verbundenen technisch-wissenschaftlichen Probleme aufzuzeigen, die vorhandenen Datengrundlagen und allfällig schon bekannte Methoden zusammenzustellen sowie die möglichen Konsequenzen auf die Klima-, Energie-, Forst- und Landwirtschaftspolitik abzuklären und in Form eines Berichtes bereitzustellen.

Ziel dieses Berichtes ist es, aus unabhängiger, wissenschaftlicher Sicht eine im vorgegebenen Rahmen möglichst umfassende Übersicht über den aktuellen Wissensstand zu geben. Dazu gehört auch eine Zusammenstellung der zurzeit offenen Fragen zur Senkenthematik sowie der möglichen Anrechenbarkeit für die Reduktionsverpflichtungen unter dem Kyoto-Protokoll. Die Fachgruppe Systemökologie der ETHZ² erhielt den Auftrag, diese Aufgabe zu übernehmen.

Andreas Fischlin Zürich, im Februar 2003

¹ United Nations Framework Convention on Climate Change

² Institut für terrestrische Ökologie, Departement für Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich

VERDANKUNGEN

Die vorliegende Arbeit wurde von einer Gruppe aus Vertretern der Administration und der Wissenschaft begleitet. In regelmässigen Abständen haben sich alle Beteiligten getroffen, um den Fortschritt sowie die Richtung der Arbeiten zu diskutieren und Entscheidungen über den Fortgang gemeinsam zu fällen. Als Projektleiter trug Andreas Fischlin von der Fachgruppe Terrestrische Systemökologie (ETHZ) die Verantwortung für die Durchführung des Projektes. Vorsitzender der Begleitgruppe war Richard Volz von der Eidgenössischen Forstdirektion (BUWAL). Dass Richard Volz als Vertreter der Eidgenössischen Forstdirektion und Andreas Fischlin als Wissenschaftsvertreter in der schweizerischen Delegation in den vergangenen Jahren bei den Klimaverhandlungen im Bereich Senken mitgewirkt haben, war beiden für diese Arbeit von grossem Vorteil.

Wir bedanken uns für die wohlwollenden und ebenso kritischen Kommentare und Anregungen von den Mitgliedern der Begleitgruppe, insbesondere Richard Volz (Vorsitzender der Begleitgruppe), Markus Nauser, Jose Romero und Paul Filliger (BUWAL), Heinz Hänni (BLW), Jens Leifeld und Jürg Fuhrer (FAL), Franz Schmithüsen und Harald Bugmann (ETH), Josef Janssen und Urs Springer (HSG).

In einem parallel laufenden Projekt³ unter der Leitung von Jürg Fuhrer wurde an der FAL analysiert, welche Senkenwirkungen in der Landwirtschaft gegenwärtig vorhanden sind und mit welchem Potential an landwirtschaftlichen Senkenleistungen in Zukunft unter günstigsten Annahmen gerechnet werden könnte. Die Ergebnisse aus diesem Projekt haben die Autoren Jens Leifeld und Jürg Fuhrer grosszügigerweise in zusammengefasster Form für die Eingliederung in diesen Bericht zur Verfügung gestellt. Dafür möchten wir im Namen des Projektteams den beiden Mitautoren recht herzlich danken.

Fachliche Unterstützung boten uns Edgar Kaufmann bezüglich LFI, Stefan Zimmermann zum Thema Boden und Jürg Bucher zu COST E21 (alle WSL) und zur Arealstatistik Mitarbeiter des Amtes für Statistik.

Informationen zu geplanten und laufenden sogenannten "Senkenprojekten" erhielten wir von Hubertus Schmidtke (Silvaconsult, Winterthur) und Georg Schoop (Stadtforstamt, Baden).

Schliesslich bedanken wir uns auch für die wohlwollende Unterstützung der diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten durch den Auftraggeber, dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), namentlich Philippe Roche, Direktor des BUWAL, Markus Nauser, Sektion Ökonomie und Klima, Werner Schärer, Eidgenössischer Forstdirektor, und insbesondere Richard Volz, Eidgenössische Forstdirektion.

Allen genannten Personen sei an dieser Stelle für ihre Bereitwilligkeit mitzuarbeiten, und uns ihre Zeit sowie wertvollen Informationen und Mittel zur Verfügung zu stellen, im Namen des Projektteams, bestehend aus Andreas Fischlin (Leiter), Bernhard Buchter, Luzius Matile, Karin Ammon und Erwin Hepperle, herzlichst gedankt.

³ Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland.

ZUSAMMENFASSUNG

Aus den Verhandlungen zum sog. Kyoto-Protokoll (KP) der Vertragsparteien des "Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen" (UNFCCC)⁴ sind die Einigung von Bonn und die Vereinbarungen von Marrakesch hervorgegangen. Darin sind die Senken als ein Mechanismus verankert, mit dem die beschlossene Treibhausgasreduktion während der ersten Verpflichtungsperiode 2008 – 2012 erreicht werden soll. In dieser Periode ist die Schweiz verpflichtet, die jährlichen Gesamtemissionen in sog. CO₂-Äquivalenten⁵ gegenüber 1990 um durchschnittlich 8% zu senken, was 1'160 kt C/a entspricht. Für die Anrechnung der Senken hat die Schweiz gemäss Artikel 3.3 des KPs Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Rodungen zu berücksichtigen, während sie nach Artikel 3.4 in schon bestehenden Wäldern, Wiesen und Äckern für die erste Verpflichtungsperiode noch wählen kann, welche Aktivitäten sie sich anrechnen lassen will. In allen genannten Bereichen spielen lediglich die drei Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N₂O) eine Rolle⁶. Dem ober- und unterirdischen Kohlenstoffvorrat eines Ökosystems (C-Gehalt) fällt dabei eine entscheidende Rolle zu, denn ein Ökosystem vermag Kohlenstoff mit der Atmosphäre sowohl über das Kohlendioxid auszutauschen als auch, je nach Situation, über das Methan. Die Lachgasemission wird hauptsächlich durch den Wasserhaushalt und die Düngung des Agroökosystems beeinflusst.

In diesem Bericht wurde zunächst versucht, sektorenweise das gegenwärtige Potential der forst- und landwirtschaftlichen Senken in der Schweiz quantitativ abzuschätzen. Die aktuelle Datenlage und der heutige Stand der Forschung in der Schweiz erlauben es nicht, den möglichen Anteil der Senken in der nationalen Treibhausgasbilanz in befriedigender Weise zu bestimmen. Trotzdem konnten erste, grobe Schätzungen vorgenommen werden.

Erstens spielen Veränderungen der Waldfläche eine Rolle. Gemäss KP sind derartige Veränderungen unter Artikel 3.3 anzurechnen. Bislang wurde die Waldzunahme auf 6'300 ha/a beziffert, unsere Analyse ergab dagegen lediglich 1'100 – 4'300 ha/a. Die damit verbundene Senkenwirkung beträgt ca. 21 – 72 kt C/a, die Quellenwirkung der Waldabnahme inklusive Rodungen ca. 0.3 – 46 kt C/a. Daraus folgt eine Nettosenkenwirkung unter Art. 3.3 von ca. -25 (Quelle!) bis +72 kt C/a. Da keine Vorrats- und Datumsangaben in der Rodungsstatistik enthalten sind und es in der Schweiz keine zentrale Erfassung von Auf- und Wiederaufforstungen gibt, fehlen zur Zeit die Daten, die zu einer genaueren Erfassung erforderlich wären.

Zweitens kann auch der Kohlenstoffvorrat bestehender Wälder ändern. Gemäss KP können Veränderungen des Kohlenstoffvorrats in schon bestehenden Ökosystemen in der ersten Verpflichtungsperiode aufgrund eines vorgängigen, nationalen Entscheids unter Artikel 3.4 sektorenweise in die nationale Treibhausgasbilanz eingebracht werden. Die sog. Waldwirtschaft ("forest management") ist hier der Sektor, der quantitativ am stärksten ins Gewicht fällt. Man kann zur Zeit annehmen, dass der Kohlenstoffvorrat in den schweizerischen Wäldern infolge der Entwicklung der Waldwirtschaft in den letzten hundert Jahren zugenommen hat und im

⁴ United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://www.unfccc.de>

⁵ Hierbei sind laut KP vier Treibhausgase (Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄, Lachgas od. Distickstoffoxid N₂O, Schwefelhexafluorid SF₆) und zwei Treibhausgasgruppen (teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe HFCs, ganz- oder perfluorierte Kohlenstoffverbindungen PFCs) zu berücksichtigen und jeweils in CO₂-Äquivalenten umzurechnen.

⁶ Diese Gase sind anteilmässig allerdings zu 98.6% an der schweizerischen Treibhausgasbilanz beteiligt: CO₂ 83.1%, CH₄ 8.6% und N₂O 6.9%.

mer noch zunimmt und dadurch eine Senkenleistung zustande kommt. Nach KP ist aber nur der Teil dieser Senkenleistung anrechenbar, der vom Mensch verursacht ist und der durch seit 1990 getroffene Massnahmen zustande kommt. Dank dem Landesforstinventar (LFI) ist die Datenlage für bestehende Wälder, wie sie gemäss Artikel 3.4 erforderlich ist, etwas besser, obwohl auch hier entscheidende Daten zurzeit noch fehlen. So gibt es beispielsweise keine verlässlichen Pflege- und Ernteangaben, wie sie für die Abrechnung gemäss KP notwendig sind. Die Schätzung ergab eine Senkenleistung von ca. 300 kt C/a. Dies liegt unter der Obergrenze von 500 kt C/a, die der Schweiz aufgrund der Verhandlungsergebnisse zum KP maximal zusteht. Stossend an obigen Schätzungen ist, dass zuverlässige Angaben zu so wichtigen Kompartimenten wie dem Waldboden grösstenteils fehlen. Um solche Unsicherheiten zu reduzieren, ist das LFI in Zukunft den Bedürfnissen des KPs anzupassen und allenfalls durch weitere Erhebungen zu ergänzen. Auch zu erfassen ist insbesondere, inwiefern Änderungen im ober- wie auch im unterirdischen Kohlenstoffvorrat wirklich auf menschliche Einflüsse zurückzuführen sind.

Drittens können sich die Kohlenstoffvorräte bestehender Agroökosysteme, d.h. von Wiesen, Weiden und Äckern, verändern. Artikel 3.4 räumt – analog zur Forstwirtschaft – die Möglichkeit ein, in der ersten Vertragsperiode Senkenleistungen in den Sektoren Ackerbau ("cropland management") und Grünlandbewirtschaftung ("grassland management") in die nationale Treibhausgasbilanz einzubringen. Auch in diesem Fall ist vorgängig ein nationaler Entscheid zu treffen, welche Aktivitäten angerechnet werden sollen. Für die problematischen organischen Böden ist die Datenbasis im Bereich der Landwirtschaft ähnlich unsicher wie bei den Waldböden. Die Schätzungen ergaben eine Quellenwirkung von 90 – 260 kt C/a. Landwirtschaftliche Massnahmen wie pflugloser Ackerbau oder die Umwandlung ökologischer Ausgleichsflächen in Dauergrünland scheinen vorteilhaft und lohnend, insbesondere wenn zukünftige Forschungsarbeiten diese ersten Schätzungen bestätigen sollten. Extensivierungen in der Landwirtschaft könnten für die Treibhausgase CH₄ und N₂O zusätzliche Verbesserungen von ca. 7 kt C/a bringen. Der Verlust von Landwirtschaftsland durch Überbauung wurde bis heute nicht untersucht, obwohl er zu einem Abbau organischer Substanz führt, für den eine ähnliche Grössenordnung wie für die organischen Böden vermutet wird. Dieser Tatsache sollte vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden.

In einem weiteren Teil werden praktische, politische und wirtschaftliche Pro- und Kontraargumente für Klima-, Energie-, Landwirtschafts-, und Forstpolitik diskutiert. Die Alternativen stützen sich u.a. auf die politischen Wahlmöglichkeiten ab, wie sie durch das KP gegeben sind. Zusammenfassend lässt sich, gestützt auf die heutige Lage in der Schweiz, Folgendes festhalten: Mittelfristig schafft die Berücksichtigung der Senken in der nationalen Treibhausgasbilanz nach dem KP Anreize für die schweizerische Land- und Forstwirtschaft, die nicht nur ihr zugute kommen, sondern grundsätzlich dem Klimaschutz dienen und zugleich in vielen Fällen einen nachhaltigen Umgang mit der Umwelt allgemein fördern können. Dazu gehört insbesondere auch, dass die Nutzung von Holz als Energieträger und Werkstoff gezielt unterstützt wird, was eine geschickte Aufteilung des Waldes nach verschiedenen Nutzungsprioritäten erforderlich macht. Anzustreben wäre dabei eine gewisse funktionale Entflechtung der multifunktional genutzten Waldgebiete durch Einräumen einer Vorrangstellung, falls überhaupt sinnvoll und möglich, für eine der folgenden Hauptfunktionen: Wirtschaftswald zur Produktion traditioneller Holzprodukte in Gebieten, die effizient genug erschlossen und genutzt werden können, Schutzwald insbesondere im Gebirge, Erholungswald in Ballungs- und Tourismusregionen, Naturwald im Dienst des Umweltschutzes, spezialisierter Bioenergiewald, z.B. in Form von Niederwald, und neu der Senkenwald. Auf diese Weise könnte die angespannte Lage in der Forstwirtschaft positive wirtschaftliche Impulse erfahren und sich für die Land- und Forstwirtschaft der Schweiz eine gesamtheitlichere Gestaltung und Wirtschaftsordnung ergeben, die einen gebührenden Beitrag an eine zukunftsweisende Landschafts-, Energie- und Klimapolitik leistet.

Zuletzt wird eine Übersicht über wichtige, aktuelle Forschungen in der Schweiz (vollständig) und dem Ausland (in ausgewählter Form) gegeben und der vordringlichste Forschungs- und Datenbedarf skizziert, indem bestehende Lücken aufgezeigt werden.

RÉSUMÉ

Les négociations menées sur le Protocole de Kyoto (PK) par les Parties à la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)⁷ ont abouti aux accords de Bonn (2001) et de Marrakech (2001). Les puits de carbone y figurent en tant que mécanisme contribuant à obtenir la réduction des émissions de gaz à effet de serre que chaque pays doit réaliser durant la première période d'engagement 2008 – 2012. Au cours de cette période, la Suisse est tenue de diminuer de 8% en moyenne par rapport à 1990 ses émissions totales annuelles exprimées en équivalent-dioxyde de carbone (équivalent-CO₂)⁸, ce qui correspond à 1'160 kt C/a. En vertu de l'alinéa 3 de l'article 3 du PK, pour la comptabilisation des puits de carbone, la Suisse doit prendre en considération les boisements, les reboisements et les déboisements, tandis qu'en vertu de l'alinéa 4 de l'article 3, elle peut choisir pour les forêts, les prairies et les champs les activités pour lesquelles elle voudrait obtenir des crédits d'émission pour la première période d'engagement. Dans tous les secteurs mentionnés, seuls trois gaz à effet de serre jouent un rôle: le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O)⁹. Les stocks de carbone sur pied et en sous-sol d'un écosystème ont donc une fonction décisive étant donné qu'un écosystème peut échanger du carbone avec l'atmosphère aussi bien par le biais du dioxyde de carbone que, selon la situation, par celui du méthane. L'émission d'oxyde nitreux est principalement influencée par le régime des eaux et l'apport d'engrais dans l'écosystème agricole.

Dans le présent rapport, on s'est tout d'abord efforcé d'évaluer quantitativement le potentiel actuel des puits de carbone forestiers et agricoles, par secteur. Les données actuelles et l'état de la recherche en Suisse ne permettent pas de déterminer de façon satisfaisante le potentiel des puits de carbone dans le bilan national des gaz à effet de serre. Il a néanmoins été possible de procéder à de premières estimations grossières.

Premièrement, il faut prendre en considération les modifications de la surface forestière. Selon le PK, de telles modifications doivent être prises en compte sous l'alinéa 3 de l'article 3. Jusqu'à présent, l'accroissement des forêts a été évalué à 6'300 ha/a, tandis que notre analyse ne donne que 1'100 à 4'300 ha/a. L'absorption de CO₂ par les puits de carbone que cela implique pour la Suisse s'élève donc à env. 21 – 72 kt C/a, et l'émission par les sources due à la réduction de l'aire forestière, défrichements compris, atteint env. 0,3 à 46 kt C/a. Il en résulte des variations nettes selon l'alinéa 3 de l'article 3 allant de – 25 (sources!) à +72 kt C/a pour les puits. Étant donné que la statistique des défrichements ne contient aucune donnée sur les stocks et les dates et qu'il n'existe pas en Suisse de recensement centralisé des boisements et des reboisements, on ne dispose pas actuellement des données qui seraient nécessaires pour une estimation plus précise.

⁷ <http://www.unfccc.de>

⁸ Selon le PK, il s'agit de prendre en considération quatre gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO₂, méthane CH₄, gaz hilarant ou oxyde nitreux N₂O, hexafluorure de soufre SF₆) et deux groupes de gaz à effet de serre (les hydrofluorocarbones partiellement halogénés HFC, les hydrocarbures perfluorés PFC) et de les exprimer en équivalent-CO₂.

⁹ Ces gaz constituent 98,6% du bilan suisse des émissions de gaz à effet de serre: CO₂ 83.1%, CH₄ 8.6% et N₂O 6.9%.

Deuxièmement, les stocks de carbone des forêts existantes peuvent aussi varier. Selon le PK, il est possible, sur la base d'une décision nationale préalable selon l'alinéa 4 de l'article 3, d'intégrer par secteur dans le bilan national des gaz à effet de serre des variations des stocks de carbone qui ont été relevées lors de la première période d'engagement dans des écosystèmes déjà existants. La gestion des forêts est ici le secteur le plus important sur le plan quantitatif. On peut émettre l'hypothèse, à l'heure actuelle, que les stocks de carbone dans les forêts suisses ont augmenté à la suite du développement de l'économie forestière au cours des derniers siècles, qu'ils augmentent encore et que les puits de carbone fournissent ainsi une prestation. Selon le PK, il n'est toutefois possible de comptabiliser que la partie de cette prestation due à des activités humaines et résultant de mesures prises après 1990. Grâce à l'Inventaire forestier national (IFN), la situation relative aux données qui sont exigées à l'alinéa 4 de l'article 3 pour les forêts existantes est un peu meilleure, bien qu'il manque aussi des informations déterminantes. Il n'y a par exemple pas de données fiables concernant l'entretien et la récolte, alors qu'elles seraient nécessaires pour la comptabilisation des puits selon le PK. La prestation fournie par les puits de carbone a été estimée à env. 300 kt C/a. Ce chiffre est inférieur à la limite supérieure de 500 kt C/a que la Suisse ne doit pas dépasser compte tenu des résultats des négociations relatives au PK. Ce qui frappe dans les estimations ci-dessus, c'est le manque de données fiables sur des catégories aussi importants que le sol forestier. Pour réduire ce type d'incertitudes, l'IFN devra être adapté à l'avenir aux besoins du PK et éventuellement complété par d'autres relevés. Il faut en particulier aussi examiner dans quelle mesure des variations des stocks sur pied et en sous-sol sont réellement imputables à des influences humaines.

Troisièmement, les stocks de carbone d'écosystèmes agricoles existants, c.-à-d. des prairies, des pâturages et des champs, peuvent aussi se modifier. L'alinéa 4 de l'article 3 accorde pour la première période d'engagement – par analogie à la gestion des forêts – la possibilité d'introduire dans le bilan national des gaz à effet de serre les prestations fournies par des puits de carbone dans les secteurs "gestion des terres cultivées" et "gestion des pâturages". Dans ces cas, il est également nécessaire de prendre au préalable une décision nationale concernant les activités qui doivent être prises en compte. Pour les sols organiques problématiques, la base de données dans le domaine de l'agriculture est aussi incertaine que celle des sols forestiers. Selon des estimations, pour la Suisse, les émissions par les sources atteignent 90 – 260 kt C/a. Des mesures agricoles telles que la culture agricole sans charrue ou la transformation de surfaces de compensation écologique en prairies permanentes semblent avantageuses. Les futurs travaux de recherche devraient confirmer les premières estimations. Les extensifications agricoles pourraient apporter des améliorations supplémentaires d'env. 7 kt C/a pour le CH₄ et le N₂O. La perte de terrains agricoles due à l'urbanisation n'a pas été étudiée jusqu'à présent, bien qu'elle conduise à une réduction de substance organique dont l'ordre de grandeur est estimé analogue à celui des sols organiques. Il faudrait accorder davantage d'attention à ce fait.

Une autre partie du rapport est consacrée à la discussion d'arguments pratiques, politiques et économiques en faveur et contre la politique climatique, énergétique, agricole et forestière. Les solutions de rechange s'appuient notamment sur les possibilités de choix politiques telles qu'elles sont données par le PK. En s'appuyant sur la situation actuelle en Suisse, on peut dire en résumé: la prise en considération de puits de carbone dans le bilan national des gaz à effet de serre selon le PK crée à moyen terme des incitations pour l'économie agricole et forestière suisse qui ne profitent pas seulement à celle-ci, mais servent fondamentalement à la protection climatique et peuvent en même temps favoriser dans de nombreux cas une utilisation durable de l'environnement en général. L'utilisation du bois en tant qu'agent énergétique et matériau doit être encouragée de manière ciblée, ce qui rend nécessaire une répartition appropriée des forêts selon différentes priorités dans l'exploitation. Il faudrait s'efforcer de désenchevêtrer quelque peu les zones forestières à fonctions multiples en privilégiant, si cela est

judicieux et possible, l'une des fonctions principales suivantes: forêt économique pour la production de produits traditionnels en bois dans des régions qui peuvent être desservies et exploitées avec une efficacité suffisante; forêts protectrices, en particulier en montagne; forêts de loisirs dans les agglomérations et les régions touristiques; forêt naturelle au service de la protection de l'environnement, forêt de bioénergie spécialisée, p.ex. sous forme de taillis; et désormais aussi la forêt-puits de carbone. De cette manière, la situation tendue de l'économie forestière pourrait bénéficier d'impulsions économiques positives et il pourrait en résulter pour l'agriculture et la foresterie suisses une organisation et un ordre économique plus globaux, qui apportent une contribution convenable à une politique paysagère, énergétique et climatique axée sur l'avenir.

Le rapport offre pour finir une vue d'ensemble des recherches importantes menées actuellement en Suisse (de manière exhaustive) et à l'étranger (une sélection) et esquisse les besoins les plus urgents en matière de recherche et de données en montrant les lacunes actuelles.

INHALT

Vorwort des Auftraggebers	I
Vorwort des Projektleiters	II
Verdankungen	III
Zusammenfassung	IV
Résumé	VI
1 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	1
1.1 Hintergrund zur Entstehung der Vertragswerke (UNFCCC, Kyoto-protokoll)	1
1.2 Die allgemeinen Bestimmungen des Kyoto-protokolls	2
1.3 Kyoto-protokoll und Senken	5
1.4 Waldbegriff	9
1.4.1 Walddefinitionen	9
1.4.2 Rechtliche Bedeutung unterschiedlicher Walddefinitionen	12
1.4.3 Schwierigkeiten eines begrifflichen Nebeneinanders	12
1.4.4 Politische Risiken unterschiedlich definierter Waldflächen	13
1.4.5 Anregungen zur Problemlösung	14
1.5 Artikel 3.3 des Kyoto-protokolls	14
1.6 Artikel 3.4 des Kyoto-protokolls	15
2 DER KOHLENSTOFFKREISLAUF UND DIE ROLLE DER SENKEN	17
3 SENKEN IN DER SCHWEIZ	22
3.1 Senken und Kohlenstoffvorräte in Land- und Forstwirtschaft	22
3.2 Datensätze in Land- und Forstwirtschaft	23
3.2.1 Landesforstinventar	23
3.2.2 Arealstatistik	24
3.2.3 Forststatistik	24
3.2.4 Bodendaten	24
3.3 Mögliche Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.3	25
3.3.1 Auswertung des Landesforstinventars	25
3.3.2 Auswertung der Arealstatistik zur Beurteilung der Waldflächenänderung	30
3.3.3 Einbezug von Ertragstafeln	31
3.3.4 Beurteilung der Datengrundlage	31
3.4 Mögliche Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.4	33
3.5 Kohlenstoffvorrat im Waldboden	36
3.6 Mögliche Verwendung landwirtschaftlicher Datensätze	37
3.6.1 Mineralische Böden	37
3.6.2 Organische Böden	37
3.7 Abschätzung bisher nicht erfasster Senken und Quellen	37
3.8 Revegetation	38
4 LAUFENDE FORSCHUNGSPROJEKTE	39
5 MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER SENKENLEISTUNG	40
5.1 Mögliche Massnahmen in der Forstwirtschaft	40
5.1.1 Allgemeine forstliche Massnahmen	40
5.1.2 Forstliche Massnahmen in der Schweiz unter Artikel 3.3	42
5.1.3 Forstliche Massnahmen in der Schweiz unter Artikel 3.4	43
5.1.4 Forstliche Senkenprojekte in der Schweiz	50
5.2 Landwirtschaftliche Massnahmen in der Schweiz unter Artikel 3.4	51
5.3 Massnahmen in anderen Bereichen	54

6	PRO UND KONTRA EINES EINBEZUGS VON SENKEN	55
6.1	Argumente für den Einbezug von Senken.....	55
6.2	Argumente gegen den Einbezug von Senken.....	56
6.3	Szenarien	58
7	ERFORDERLICHE GRUNDLAGEN UND LÜCKEN	62
7.1	Datenbedarf	62
7.2	Forschungsbedarf	63
8	LITERATUR.....	65
9	ANHANG.....	68
9.1	Global Warming Potential.....	68
9.2	Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.3	68
9.3	Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.4	69
9.4	Laufende Forschungsprojekte	71

1 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

1.1 Hintergrund zur Entstehung der Vertragswerke (UNFCCC, Kyotoprotokoll)

Im Dezember 1997 verabschiedete¹⁰ die dritte Konferenz der Vertragsparteien zur Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen über Klimaänderung (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) in Kyoto (Japan) das Kyotoprotokoll (KP). Es gilt als bahnbrechend (Oberthür & Ott, 2000), enthält es doch erstmals quantifizierte, rechtlich verbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung und Minderung der Emission von Treibhausgasen durch Vertragsparteien, namentlich die bislang hauptverantwortlichen Industrieländer.

Die UNFCCC ist am 21. März 1994 in Kraft getreten. Bis heute haben praktisch alle Länder, d.h. 186 Nationen, die UNFCCC ratifiziert (Stand 2002¹¹). Das entscheidende Ziel der UNFCCC wird in Art. 2 folgendermassen umschrieben: „Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschliesst, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.“

Die Vertragsparteien haben das Vertragswerk nach Rio jährlich an den Konferenzen, den Conferences of the Parties (COP), präzisiert. Das Kyotoprotokoll wurde an der 3. Konferenz, COP 3, formuliert. Die COP 6 fand in Bonn statt (Bonner Agreement¹²), die COP 7 in Marrakesch (Marrakesh Accords¹³).

Das KP stellt einen wichtigen Bestandteil der UNFCCC dar. Bislang haben insgesamt 105 Länder ratifiziert; das sind 31 der 37 Länder mit Reduktionsverpflichtungen, die 43.9 % der Gesamtemissionen der zur Reduktion verpflichteten Länder ausmachen (Stand Februar 2003¹¹). Damit ist das Quorum von 55 Ländern schon erreicht, welches für die Inkraftsetzung erforderlich ist. Damit das KP jedoch wirklich in Kraft tritt, müssen die ratifizierenden Länder insgesamt für mindestens 55% der CO₂-Emissionen der Industrieländer gemäss Stand 1990 verantwortlich sein. Diese zweite Bedingung ist heute noch nicht erfüllt (Stand Februar 2003¹¹). Es bestehen jedoch insbesondere nach dem UNO Weltgipfel in Johannesburg gute Aussichten, dass auch diese Bestimmung bald erfüllt sein wird, denn Russland hat angekündigt, das KP zu ratifizieren.

¹⁰ Siehe http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_klima/politik/Int_Politik/kyoto/index.html für den gesamten deutschen Text des KPs.

¹¹ <http://www.unfccc.de>

¹² Siehe http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_klima/politik/Int_Politik/index.html für den Text des Bonner Agreements.

¹³ Vollständig enthalten in den Dokumenten FCCC/CP/2001/13, FCCC/CP/2001/13/Add.1, FCCC/CP/2001/13/Add.1/Corr.1, FCCC/CP/2001/13/Add.2, FCCC/CP/2001/13/Add.3 und FCCC/CP/2001/13/Add.4.

1.2 Die allgemeinen Bestimmungen des Kyotoprotokolls

Das Protokoll umfasst 28 Artikel unterschiedlicher Ausführlichkeit sowie zwei Anlagen (Anhänge). Art. 3 ist von entscheidender Bedeutung, da er die quantifizierten Emissionsbegrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen festlegt. In ihm gehen die hauptverantwortlichen Vertragsparteien (Industrieländer gemäss Anlage B) die gemeinsame Verpflichtung ein, ihre gesamten Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten (THG-Emissionen gemäss Anlage A) innerhalb des ersten Verpflichtungszeitraumes (2008 – 2012) um mindestens 5% unter das Niveau des Basisjahres 1990 zu senken. Gemäss Anlage A sind hierbei die Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) aus den Sektoren Energie, Produktionsprozesse, Verwendung von Lösungsmitteln und anderen Erzeugnissen, Land-, Forst und Abfallwirtschaft zu berücksichtigen. Die Wirkung einzelner Gase bezüglich Klimaerwärmung wird mit dem sog. GWP (Global Warming Potential) bestimmt. Hierzu werden alle THG-Emissionen oder -Reduktionen in CO₂-Äquivalente umgerechnet¹⁴. Im Zusammenhang mit Senken sind die xenobiotischen THG, d.h. H-FKWs, FKWs und SF₆ bedeutungslos. Jedoch kommt neben dem CO₂ den THG CH₄ und N₂O eine, oft unterschätzte, Bedeutung zu.

Gemäss Art. 3.7 einigten sich die Vertragsparteien auf länderspezifische Emissionsbegrenzungs- bzw. Reduktionsverpflichtungen. Sie sind in % des Basisjahres (oder des Basiszeitraumes) in der Anlage B aufgeführt. Für die Schweiz beträgt dieser Wert 8%. Die Reduktionsverpflichtungen müssen nicht in jedem Jahr strikt, sondern lediglich für den Verpflichtungszeitraum als Ganzes eingehalten werden. Dies erlaubt es, Schwankungen von Jahr zu Jahr abzufedern. Während des ersten Verpflichtungszeitraumes ergibt sich eine Reduktion der Emissionen der Industrieländer von 5.2% unter den Stand des Basisjahres 1990. Da der erste Verpflichtungszeitraum fünf Jahre umfasst, bedeutet dies, dass die Gesamtemissionen der Industrieländer auf 94.8% des Fünffachen der Emissionen des Basisjahres begrenzt sind.

Das KP bietet noch weitere Möglichkeiten, Härten bei der Einhaltung der Emissionsbegrenzung aufzuweichen. Hierzu gehören die sogenannten "Flexiblen Mechanismen" und die "Senken".

Insbesondere die "Flexiblen Mechanismen" sollen dazu dienen, die erwarteten Kosten zu senken, welche bei der Einhaltung der Kyoto-Ziele anfallen. Dank Beschränkung der Begrenzung auf Gesamtemissionen (Bubble-Ansatz) verknüpft mit Emissionshandel können die Annex-1 Länder¹⁵ Emissionsrechte untereinander übertragen, wodurch die Gesamtkosten der Emissionsvermeidung signifikant tiefer ausfallen sollten.

Bei der Finanzierung konkreter Klimaschutzprojekte (**Joint Implementation (JI)** zwischen Industrieländern¹⁶ oder der **Clean Development Mechanism (CDM)** zwischen Industrie- und Entwicklungsländern bzw. von einem Entwicklungsland aus im Alleingang¹⁷) können sich die betroffenen Vertragsparteien die erzielten Reduktionen an THG-Emissionen an ihre

¹⁴ Kommentar zu den Umrechnungsverfahren siehe Anhang

¹⁵ Industrieländer werden oft auch als Annex-1-Länder bezeichnet. Diese Bezeichnung bezieht sich auf den Anhang 1 der UNFCCC, worin die Industrieländer und die sich im Übergang zur Marktwirtschaft befindlichen Länder namentlich erwähnt sind.

¹⁶ Hier ist ein Vertrag zwischen einem entwickelten Industrieland, und einem, das sich im Übergang zur Marktwirtschaft befindet, vorgesehen.

¹⁷ Die Vereinbarungen von Marrakesch haben auch für den sog. unilateralen CDM Klarheit geschaffen: Ein Entwicklungsland kann auch aus eigener Initiative, d.h. ohne ein Industrieland als Partnerland, ein CDM-Projekt durchführen. Die erwirtschafteten Emissionskredite können wie andere Emissionszertifikate gehandelt werden.

nationalen Reduktionsverpflichtungen anrechnen lassen. Es wird erwartet, dass solche Klimaschutzprojekte wohl vor allem dort getätigt werden, wo sie am kostenwirksamsten sind (in Schwellen- und Entwicklungsländern). Aus der Sicht des Klimaschutzes spielt es keine Rolle, in welchem Land treibhausgasreduzierende Projekte getätigt werden, da sie in jedem Fall weltweit klimawirksam sind.

- **Joint Implementation (JI)** sind jene Projekte, die zwischen zwei Annex 1-Parteien durchgeführt werden (Art. 6). Das Investorland erhält Emissionsgutschriften, das Gastgeberland hingegen kann von den lokalen Nutzen des Projektes profitieren. Alle JI-Projekte sind einem kontrollierten Projektzyklus unterworfen: Projekt-Identifizierung, Projekt-Genehmigung durch beide Parteien, Projekt-Validierung, Projekt-Registrierung, Projekt-Realisierung bis hin zum Projekt-Reporting durch das Betreiberland und der Projekt-Zertifizierung durch private Prüfstellen. Im Gegensatz zu CDM-Projekten sind hier alle Aktivitäten erlaubt, insbesondere auch forstwirtschaftliche "Senkenprojekte". Letztere sind gemäss der politischen Einigung an der COP 6 in Bonn und den Vereinbarungen an der COP 7 in Marrakesch für jedes Land begrenzt worden. Die erzielten Emissionsgutschriften sind genau gleich wie die unter Art. 3.4 erzielten Gutschriften mitzurechnen und unterliegen einer länderspezifischen Gesamtbegrenzung (Cap, Details s. unten).
- **Clean Development Mechanism (CDM)** sind jene Projekte, die zwischen einem Annex-1-Land und einem Entwicklungsland durchgeführt werden (Art. 12). Hierbei ist damit zu rechnen, dass sich v. a. die entwickelten Länder für CDM-Projekte interessieren werden. Emissionsgutschriften sind nur für diejenigen Reduktionen an THG-Emissionen erzielbar, die eine sog. "Base-Line" übertreffen. Im Unterschied zum JI sind im CDM nicht alle Aktivitäten erlaubt, d.h. insbesondere "Senkenprojekte" sind auf Aufforstungs- und Wiederaufforstungsvorhaben beschränkt. Zudem wurde für diese Projekte hier auch eine länderspezifische Obergrenze festgelegt, welche die Anrechenbarkeit regelt. Die Höhe dieser Grenze wurde gemäss der politischen Einigung in Bonn und den Vereinbarungen von Marrakesch auf 1% der nationalen Emissionen im Basisjahr 1990 festgesetzt. Im Gegensatz dazu müssen, was die Senkenprojekte im CDM anbetrifft, noch zahlreiche Bestimmungen weiter ausgeführt und im Detail konkretisiert werden (COP 9, COP 10¹⁸). Im Moment beispielsweise ist nicht festgelegt, wie die "Base-Line" für Senkenprojekte im CDM zu bestimmen sein wird. Das IPCC ist auch eingeladen worden, zu diesen Fragen den Stand des Wissens zusammenzutragen und zuhanden der Vertragsstaaten Entscheidungsrundlagen auszuarbeiten (Marrakesch Accords¹⁹).
- **International Emissions Trading (IET)**: Für alle Industrieländer besteht die Möglichkeit, mit Emissionsrechten für Treibhausgase zu handeln (Art. 17). Handelspartner sind alle Annex 1-Länder, für die im Rahmen des KPs eine Reduktionsverpflichtung festgesetzt wurde. Auch hier gibt es Beschränkungen. So müssen z. B. die einzelnen Länder gemäss den Vereinbarungen von Marrakesch jederzeit im Besitz von mindestens 90% ihres Emissionsguthabens sein (FCCC/CP/2001/13/Add.2 p. 54).
- Ob auch Zertifikate für inländische Projekte handelbar sind, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gesagt werden. Gemäss KP ist es den einzelnen Vertragsstaaten überlassen, dies zu regeln. Vorerst bleibt die Entwicklung auf internationaler Ebene abzuwarten. In der EU sind derartige Bestrebungen jedenfalls zurzeit im Gange.

¹⁸ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 54

¹⁹ Vollständig enthalten in den Dokumenten FCCC/CP/2001/13, FCCC/CP/2001/13/Add.1, FCCC/CP/2001/13/Add.1/Corr.1, FCCC/CP/2001/13/Add.2, FCCC/CP/2001/13/Add.3 und FCCC/CP/2001/13/Add.4.

Der Miteinbezug von Senken dürfte für die politische Einigung im Zusammenhang mit dem KP ausschlaggebend gewesen sein. Der Einbezug der Senken bedeutet, dass das Emissionsguthaben einer Vertragspartei sich um den Betrag an THG, die durch Landflächen ökosystemar eingebunden werden, erhöhen lässt. Dabei werden zusätzlich zu den "Senkenprojekten", wie sie obenstehend angeführt wurden, auch die inländischen Senken gemäss Art. 3.3 und 3.4 des KPs anrechenbar.

Neueste Forschungsergebnisse und der spezielle Bericht des IPCC (Watson *et al.*, 2000) zu diesem Thema ergaben, dass vor allem Massnahmen im Forstbereich potentiell einen Teil der Reduktionsverpflichtungen ausmachen, der quantitativ ins Gewicht fällt: Diese Ergebnisse haben selbst Experten etwas überrascht. Gleichzeitig entstand eine politisch brisante Situation, da der Miteinbezug der Senken das delicate Gefüge des seit Kyoto (COP 3) ausgehandelten Systems an Reduktionsverpflichtungen auf einmal auf den Kopf zu stellen drohte. Die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch haben nun die Modalitäten festgelegt, die erlauben die inländischen Senken im Zusammenhang mit den Reduktionsverpflichtungen anzurechnen.

Im Verlaufe der Verhandlungen zeigte sich, dass für die Behandlung der biologischen Senken und Quellen spezielle Prinzipien vonnöten sind, um einen sinnvollen Miteinbezug dieser Aspekte in eine wirkungsvolle Klimaschutzpolitik zu gewährleisten²⁰. Allerdings zeigte sich ebenfalls, dass in diesem komplexen Bereich auf die Schnelle, d.h. schon für den ersten Verpflichtungszeitraum, keine allseits befriedigende und dauerhafte Lösung gefunden werden kann. U. a. wurden auch die wissenschaftlichen Grundlagen als zu ungenügend eingestuft. Aus diesem Grund beschloss man ohne Präjudiz für nachfolgende Verpflichtungszeiträume, eine pragmatische Lösung für die anstehende Verpflichtungsperiode vorzuziehen²¹.

Laut den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch sind jedoch schon viele Einzelheiten – das gilt insbesondere für die inländischen Senken – geregelt²². Die beiden Vereinbarungen umfassen Definitionen für Wald, anrechenbare forst- und landwirtschaftliche Aktivitäten wie Aufforstung, Entwaldung oder klimagerechter Ackerbau. Auch die Modalitäten, um die durch Senken erzielbaren Emissionsgutschriften anzurechnen, sind darin bestimmt (RMU²³s).

So wurde z. B. für jedes Land individuell eine Obergrenze (Cap) der Anrechenbarkeit forstwirtschaftlicher Massnahmen unter Art. 3.4 bestimmt (insgesamt 250 Mt CO₂-Äquivalent/Jahr, ohne die USA). Für die Schweiz beträgt diese Obergrenze 0.5 Mt CO₂-Equiv-C pro Jahr bzw. das Fünffache pro Verpflichtungszeitraum, wobei hier forstwirtschaftliche JI-Projekte mitzuzählen sind (FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 60). Mit diesen Dekreten ebnete sich der Weg für die Ratifizierung und das Inkrafttreten des KPs in den einzelnen Vertragsstaaten.

Die im KP erwähnten Massnahmen vermögen es zwar nicht, die THG-Emissionen in den Industriestaaten auf Dauer zu senken (siehe Kapitel 2). Es kann lediglich eine Zeit lang eine Zunahme der Emissionen kompensiert werden (Stellungnahme des OcCC, 2002). Vor allem dieser Umstand hat den politischen Gegnern der Anrechnung von Senken starken Antrieb gegeben. Dagegen gilt es aber festzuhalten, dass es auch starke Befürworter der Anrechenbarkeit von Senken gibt. Einerseits erhofft man sich von den Senken, dass sie einen Zeitgewinn bringen, der hilft eine allzu abrupte Umstellung auf eine emissionsärmere Wirtschaft abzufedern. Andererseits ist es eine unbestreitbare Tatsache, dass zum Senkenbereich auch

²⁰ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 56

²¹ FCCC/CP/2001/5 p. 46

²² FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 54ff.

²³ RMU: Removal Units, cf. FCCC/CP/2001/13/Add.2 p. 8 und 57

Emissionen zu zählen sind, d.h. dass Emissionen aus Landnutzungsänderungen einen erheblichen Teil (20%) der anthropogenen Emissionen darstellen. Gelingt es diese zu reduzieren, so ist ebenfalls ein wichtiger Beitrag an den Klimaschutz geleistet, wie dies auch die Klimakonvention fordert²⁴. Wegen der erleichterten Emissionsreduktion wird der Einbezug der Senken u. a. von den Umbrellastaaten befürwortet, zu denen ursprünglich auch die USA zählte.

In diesem Bericht stehen die inländischen Senken im Vordergrund. Deshalb wird auf die Artikel 3 Absatz 3 (Art. 3.3) und Artikel 3 Absatz 4 (Art. 3.4) des KPs im Folgenden näher eingegangen.

1.3 Kyotoprotokoll und Senken

Das KP ist als ein Instrument der Klimakonvention zu verstehen. Deren Ziel ist es laut Art. 2, die atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase auf einem ungefährlichen Niveau zu stabilisieren (UNFCCC Art. 2). Weitere Artikel der Konvention zählen zur Erreichung dieses ultimativen Ziels auch ökosystemare Senken zu Land und Wasser auf (UNFCCC Art. 3.3, Art. 4.1 (a) – (d), 4.2 (a) – (c), und Art. 7.1 (d)). Darin wird u. a. auch explizit gefordert, dass ökosystemare Speicher zu erhalten oder zu fördern seien (z. B. UNFCCC Art. 4.1 (d)).

Bei der Verabschiedung des KP anlässlich der COP 3 in Kyoto wurden die Senken im Sinne eines Kompromisses in spezifischer Art und Weise verankert, insbesondere Art. 3.3 und 3.4. Die Befürworter des expliziten Einbezugs der Senken, d.h. die Umbrellastaaten unter der Führung der USA, hofften, dass damit die Reduktionsverpflichtungen leichter zu erreichen seien. Vor allem die USA verfügen zur Zeit vermutlich über eine der grössten nationalen Senken (Schimel *et al.*, 2000).

Im KP spielen Senken eine Rolle in Art. 2.1(a)(ii) (Erhaltung und Förderung), 3.3 (Landnutzungsänderungen wie Rodungen, Aufforstungen), 3.4 (Verbesserung der Bewirtschaftung innerhalb gleichbleibender Landnutzungsart), 3.7 (Anrechenbarkeit), 5.1 u. 5.2 (Bereitstellung eines nationalen Erfassungs- und Schätzverfahrens), 5.3 (Umrechnung der THG auf CO₂-Äquivalente auf Basis des GWP²⁵), Art. 6.1 (JI), 6.1 (b) (additionality of sinks), Art. 7.1 (Berichterstattung), 10 (a) – (b) (Policy and Measures). Es ist interessant festzuhalten, dass das KP die Senken in Art. 12 (CDM) nicht erwähnt.

In Art. 3.3 und 3.4, 5.1 – 5.3 und 7.1, sowie 10 (a) – (b) geht es um inländische ökosystemare Senken bzw. Quellen, die als erzielbare Senkenkredite (RMUs²⁶) oder allenfalls als Verluste zu verrechnen sind. Art. 6.1 und 12 behandeln sog. Senkenprojekte, bei denen neben dem profitierenden Investorland mindestens ein ausländischer Akteur, das Gastgeberland, involviert ist. Im Falle der Schweiz als Investorland befindet sich also das fragliche Gebiet (Waldgebiet²⁷ oder landwirtschaftlich genutzte Fläche²⁸) im Gastgeberland.

²⁴ z. B. UNFCCC Par. 4 (d)

²⁵ GWP: Global Warming Potential (s. Anhang)

²⁶ RMU: Removal Unit, cf. FCCC/CP/2001/13/Add.2 p. 8 und 57, durch Art. 3.3 und 3.4 entstehend.

²⁷ Die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch haben ergeben, dass im Fall von CDM-Senkenprojekten lediglich Aufforstungen und Wiederaufforstungen in Frage kommen (FCCC/CP/2001/13/Add.1 D Art. 12.13). Im Falle von JI-Senkenprojekten kommen beliebige Projekte in Frage. Allerdings sind Waldbewirtschaftungsprojekte den quantitativen Restriktionen des Investorlandes unterworfen.

²⁸ Nur möglich für JI-Senkenprojekte

Den Artikeln 3.3 und 3.4 kommt eine besondere Rolle zu, da sie auf nationaler Ebene von Bedeutung sind. Diese beiden Artikel (siehe unten) werden in Watson et al. (2000 p. 139 and p. 189) genauer analysiert.

Mit Artikel 3.3 sollen alle direkt vom Menschen verursachten Landnutzungsänderungen erfasst werden, bei denen Waldflächen involviert sind. Für Aufforstungen bzw. Wiederaufforstungen sollen Anreize geschaffen werden. Entwaldungen sollen bestraft werden.

Art. 3.3: Die Nettoänderungen der Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und des Abbaus solcher Gase durch Senken als Folge unmittelbar vom Menschen verursachter Landnutzungsänderungen und forstwirtschaftlicher Massnahmen, die auf Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung seit 1990 begrenzt sind, gemessen als nachprüfbar Veränderungen der Kohlenstoffbestände in jedem Verpflichtungszeitraum, werden zur Erfüllung der jeder in Anhang I aufgeführten Vertragspartei obliegenden Verpflichtungen nach diesem Artikel verwendet. Die Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und der Abbau solcher Gase durch Senken, die mit diesen Massnahmen verbunden sind, werden nach Massgabe der Artikel 7 und 8 in transparenter und nachprüfbarer Weise gemeldet und überprüft.

aus übersetztem KP, das dem schweiz. Parlament zwecks Ratifikation vorgelegt wurde

Damit wird der Begriff von Aktivitäten eingeführt, nämlich Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen. Das Kyotoprotokoll gibt den einzelnen Ländern keine Wahlmöglichkeiten, sondern verlangt, dass über alle derartigen Aktivitäten und deren Ausmass Bericht erstattet wird. Zudem müssen die Länder die Auswirkungen der beschriebenen Landnutzungsänderungen auf den Kohlenstoffvorrat der betroffenen Ökosysteme in ihrer nationalen Kohlenstoffbilanz voll berücksichtigen.

Gemäss dem KP und den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch sind sämtliche Flächen mit einer Auflösung von mindestens 1 ha, auf denen eine der angeführten Aktivitäten zwischen 1990 und 2012 stattfindet, zu erfassen. Zudem müssen auch die im Verlauf der ersten Verpflichtungsperiode vorgenommenen Änderungen im Kohlenstoffgehalt bestimmt werden. Die festgestellten Änderungen sind als Senke oder Quelle in der nationalen Bilanz zu verrechnen.

Aufforstungen und Wiederaufforstungen unterscheiden sich nur wenig. Im ersten Fall darf die fragliche Fläche vor Beginn der Aktivität, d.h. der Aufforstung, während mindestens 50 Jahren nicht mit Wald bestockt gewesen sein. Das bedeutet, dass sie anders genutzt wurde, z. B. als Weideland. Im zweiten Fall muss gewährleistet sein, dass die fragliche Fläche am 31. Dezember 1989 nicht Wald gewesen ist²⁹. Das KP versteht die Aktivitäten Aufforstung und Wiederaufforstung als direkt vom Menschen verursacht. Allerdings lassen die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch sogar zu, dass die landwirtschaftlichen Flächen, deren natürliches Einwachsen direkt vom Menschen gefördert wird, als Aufforstung und Wiederaufforstung im Sinne des KPs verstanden werden dürfen.

²⁹ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58 spricht im Falle der Wiederaufforstung ("reforestation") nur von Wald und nicht von Bestockung. Dies ist von Bedeutung, da die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch bei der Definition des Begriffes "Wald" von einer auf die Fläche bezogenen Nutzungsart ausgehen und nicht primär die aktuelle Bestockung im Auge haben. Demnach können auch temporär unbestockte Flächen als "Wald" gelten. Der sog. Erntezyklus ist bewusst aus dem Art. 3.3 herausgenommen worden und die Länder sind aufgefordert, hier eine klare Unterscheidung zu machen. Nur wenn eine Fläche am 31. Dez. 1989 eindeutig nicht als Wald genutzt wurde, kann sie unter Wiederaufforstung gemäss Art. 3.3 fallen.

Da gemäss schweizerischem Waldgesetz alle Rodungen bewilligungspflichtig sind, ist die zentrale Erfassung der Aktivität Entwaldung auf diesem Weg möglich. Allerdings ist der Sachverhalt etwas weniger klar für die beiden anderen Aktivitäten Aufforstung und Wiederaufforstung. Im allgemeinen ist aber davon auszugehen, dass infolge des langsamen Wachses von Bäumen Kohlenstoff weit langsamer eingebunden wird, als er an die Atmosphäre durch Rodung verloren geht. Somit stellt ein Land, dessen Waldfläche gleich gross bleibt, aber sich räumlich etwas verschiebt³⁰, wie das in vielen Industrieländern der Fall ist, nach Artikel 3.3 insgesamt eine Quelle dar. Selbst wenn die Waldfläche netto zunimmt, was ebenfalls für viele Industrieländer zutrifft, so genügt diese Zunahme meist nicht, um die bei Entwaldungen erlittenen Kohlenstoff-Verluste zu kompensieren.

Diese Umstände haben denn auch dazu geführt, dass in den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch beschlossen wurde, dass eine Kompensation der Quellenwirkung unter Artikel 3.3 durch eine Senkenwirkung unter Art. 3.4 kompensiert werden dürfe, falls diese Quellenwirkung die Grenze von 45 Mt C innerhalb der ersten Verpflichtungsperiode nicht überschreitet³¹.

Art. 3.4: Vor der ersten Tagung der als Tagung der Vertragsparteien dieses Protokolls dienenden Konferenz der Vertragsparteien stellt jede in Anhang I aufgeführte Vertragspartei Daten zur Prüfung durch das Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung bereit, anhand deren die Höhe ihrer Kohlenstoffbestände im Jahr 1990 bestimmt und die Veränderungen ihrer Kohlenstoffbestände in den Folgejahren geschätzt werden können. Die als Tagung der Vertragsparteien des Protokolls dienende Konferenz der Vertragsparteien beschliesst auf ihrer ersten Tagung oder möglichst bald danach über Modalitäten, Regeln und Leitlinien im Hinblick darauf, welche zusätzlichen vom Menschen verursachten Tätigkeiten in Bezug auf Änderungen der Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und des Abbaus solcher Gase durch Senken in den Kategorien landwirtschaftliche Böden sowie Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft den in Anhang I aufgeführten Vertragsparteien zugeteilten Mengen hinzugerechnet oder von ihnen abgezogen werden müssen, und auf welche Weise dies erfolgen soll, wobei Unsicherheiten, die Transparenz der Berichterstattung, die Nachprüfbarkeit, die methodische Arbeit der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe für Klimaänderungen, die von dem Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung nach Artikel 5 abgegebenen Empfehlungen und die Beschlüsse der Konferenz der Vertragsparteien zu berücksichtigen sind. Ein solcher Beschluss kommt in dem zweiten und den nachfolgenden Verpflichtungszeiträumen zur Anwendung. Eine Vertragspartei hat die Wahl, einen solchen Beschluss über diese zusätzlichen vom Menschen verursachten Tätigkeiten auf ihren ersten Verpflichtungszeitraum anzuwenden, sofern diese Tätigkeiten ab 1990 stattgefunden haben.

aus übersetztem KP, das dem schweiz. Parlament zwecks Ratifikation vorgelegt wurde

Für Art. 3.4 gilt es zu beachten, dass gemäss den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch folgende Aktivitäten anrechenbar sind:

- Wiederbegrünung
- Waldbewirtschaftung
- Ackerbau
- Graslandbewirtschaftung

³⁰ Aufgrund des Waldgesetzes trifft dies für die Schweiz zu, da i. allg. eine Rodungsbewilligung nur erteilt wird, falls eine kompensierende, d.h. flächenmässig gleichgrosse, Wiederaufforstung durchgeführt wird.

³¹ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 60

Die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch legen fest, wie diese Aktivitäten zu verstehen sind³². Diese Definitionen sind absichtlich breit formuliert und umfassen eine grosse Palette an Einzelaktivitäten. Im Unterschied zu Art. 3.3 setzen die Aktivitäten nicht eine direkte Beeinflussung durch den Menschen voraus, sondern lassen auch zu, dass er sie nur indirekt verursacht hat. Bei all diesen Aktivitäten spielen die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O eine Rolle, wobei sie alle auf die sog. CO₂-Äquivalente umzurechnen sind. Es besteht wie in Art. 3.3 die Voraussetzung, dass die Aktivitäten nur dann anrechenbar sind, wenn sie nach dem 1. Januar 1990 stattgefunden haben.

Die **Wiederbegrünung** spielt für die Schweiz vermutlich eine geringe Rolle und wird weiter unten diskutiert.

Gemäss Art. 3.4, bestätigt durch die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch, hat jedes einzelne Land für die erste Verpflichtungsperiode Wahlmöglichkeiten, welche der vier Aktivitäten es sich anrechnen lassen möchte. Diese Entscheidung muss vor dem Beginn der Verpflichtungsperiode gefällt werden und umfasst dann alle Flächen, die der jeweiligen Aktivität unterworfen sind. Da die Aktivitäten sehr breit definiert wurden, sind sämtliche landwirtschaftlichen Flächen dem KP zu unterstellen, wenn ein Land sowohl **Ackerbau** wie auch **Graslandbewirtschaftung** wählt, da landwirtschaftliche Flächen üblicherweise jährlich bewirtschaftet werden. Im Falle der **Waldbewirtschaftung** ist das nicht ganz gleich. Wird die meiste Waldfläche eines Landes bewirtschaftet wie in der Schweiz, so ist maximal diese Waldfläche dem KP zu unterstellen. Da die Waldwirtschaft eine extensivere Nutzung darstellt – Pflegeeingriffe, Durchforstungen und Nutzungen folgen sich in Abständen von mehreren Jahren bis Jahrzehnten –, muss nicht die ganze Fläche schon in der ersten Verpflichtungsperiode erfasst werden. Die Aktivitätsdefinition erfüllen nämlich bloss diejenigen Flächen, die seit 1990 auch tatsächlich bewirtschaftet wurden.

Es gibt einen wichtigen Unterschied zwischen Waldbewirtschaftung und landwirtschaftlichen Aktivitäten bzw. Wiederbegrünung: Die Abrechnung erfolgt nach unterschiedlichen Regeln. Im Falle der Waldbewirtschaftung wird die Differenz im Kohlenstoffvorrat der betroffenen Flächen während der Verpflichtungsperiode bestimmt. Im Falle des Ackerbaus, der Graslandbewirtschaftung und der Wiederbegrünung wird die Änderung in der Nettobilanz der Treibhausgase gegenüber dem Basisjahr 1990 bestimmt ("Net-Net Accounting"). Wird beispielsweise in einem Teil der schweizerischen Wälder irgendwann kurz nach 1990 die Bewirtschaftungsform umgestellt, so dass zwischen 2008 und 2012 ein Zuwachs in den Kohlenstoffvorräten resultiert, so ist der ganze Zuwachs, der zwischen 2008 und 2012 auf diesen Flächen stattfindet, anrechenbar, falls sich die Schweiz entscheidet, Waldbewirtschaftung schon für die erste Verpflichtungsperiode auszuwählen.

Nach den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch unterliegen die anrechenbaren Senkenkredite, die mit Waldbewirtschaftung erzielt werden können, einer länderspezifischen Obergrenze³³. Für die Schweiz beträgt diese Obergrenze 0.5 Mt C/a bzw. 2.5 Mt C für die erste Verpflichtungsperiode³⁴. JI-Waldbewirtschaftungsprojekte sind mit einzubeziehen (Art. 6), d.h. es können Zertifikate (RMUs, Art. 3.4) nur bis maximal einer Gesamtsumme von 2.5 Mt C aus inländischer Waldbewirtschaftung und aus JI-Waldbewirtschaftungsprojekten (ERUs³⁵, Art. 6) in einem ausländischen Gastland ausgestellt werden. Diese Obergrenze gilt

³² FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58

³³ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 60 und 63

³⁴ Unsere Nachbarländer haben vergleichbare Obergrenzen: Österreich 0.63, Frankreich 0.88, Deutschland 1.24, Italien 0.18, Liechtenstein 0.01 Mt C/a.

³⁵ ERU: Emission Reduction Unit, cf. FCCC/CP/2001/13/Add.2 p. 8, durch Art. 6 entstehend.

erst für die Gutschriften, die nach der Kompensation einer allfälligen Nettoquelle unter Art. 3.3 übrigbleiben.

CDM-Senkenprojekte, d.h. Aufforstungen oder Wiederaufforstungen in einem Entwicklungsland, unterliegen nochmals einer anderen Regelung: Während der ersten Verpflichtungsperiode kann ein Land sich derart erwirtschaftete CERs³⁶ nur bis zur Obergrenze von 5% der Emissionen im Basisjahr 1990³⁷ gutschreiben lassen.

Die Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch verlangen, dass ein Land ein jährliches Inventar zu den ökosystemaren Senken und Quellen zusammenstellt, das explizit die Aktivitäten unter Art. 3.3 und 3.4 ausweist³⁸. Vor allem für Aktivitäten unter Art. 3.4³⁹ müssen auch Informationen zusammengestellt werden, die aufzeigen, dass die Gutschriften aus Senken durch menschliche Einflüsse und nach 1990 zustande gekommen sind⁴⁰. Die betroffenen Flächen müssen in hoher räumlicher Auflösung (≤ 1 ha) in konsistenter Weise (von Jahr zu Jahr) geographisch lokalisiert ausgewiesen werden³⁸.

Die Unsicherheiten, die mit der quantitativen Schätzung ökosystemarer Senken und Quellen zusammenhängen, machen die Genehmigung der Zertifikate bzw. die Verifikation der von einem Land beanspruchten Kredite zu einer besonderen Herausforderung. Zurzeit werden solche Fragen im Rahmen des IPCC⁴¹ bearbeitet. Es ist zu hoffen, dass Hilfen zur Erstellung der Inventare und zur Berichterstattung über die ausgestellten Emissionszertifikate erarbeitet werden können.

Schliesslich ist zu entscheiden, ob RMUs jährlich oder bloss am Ende der Verpflichtungsperiode auszuschütten sind. Einmal ausgestellt, können RMUs frei gehandelt werden. Sie sind nicht von einer Verpflichtungsperiode auf die nächste übertragbar. Jedoch können sie immer zur Abdeckung der Emissionen verwendet werden, so dass diese Einschränkung in der Praxis vermutlich bedeutungslos sein wird.

1.4 Waldbegriff

1.4.1 WALDDEFINITIONEN

Für die Anwendung des Kyotoprotokolls spielt die Walddefinition eine zentrale Rolle. Die unter Art. 3.3 massgeblichen Handlungen (Landnutzungsänderungen Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung) können nur erfasst werden, indem ein Bezug zur Walddefinition hergestellt wird. In besonderer Art und Weise ist die Anwendung von Art. 3.4 von der Walddefinition betroffen: Geht man davon aus, dass sich Waldwirtschaft (forest management) sinnvollerweise nur auf heutige oder künftige Waldflächen beziehen kann, so muss die Pflege von Baumbeständen ausserhalb des Waldes den landwirtschaftlichen Aktivitäten zugeordnet werden. Dies bedingt ein entsprechend weit gefasstes Verständnis des Begriffs "cropland management", das nicht ohne weiteres aus dem Wortlaut der Definition abgeleitet werden

³⁶ CER: Certified Emission Reduction Unit, cf. FCCC/CP/2001/13/Add.2 p. 26, durch Art. 12 entstehend.

³⁷ Dies entspricht pro Jahr 1% der Emissionen im Basisjahr (cf. FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 61)

³⁸ FCCC/CP/2001/13/Add.3 p. 22

³⁹ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 59

⁴⁰ FCCC/CP/2001/13/Add.3 p. 23-24

⁴¹ IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories – LULUCF Good Practice Guidance Report.

kann⁴². Es deutet gleichwohl nichts darauf hin, dass ausgerechnet diese kohlenstoffreichste Form der Landnutzung ausserhalb des Waldes keine Senkenleistung im Sinne des Kyoto-Protokolls darstellen soll. Sinn und Zweck des Abkommens legen es nahe, solche Flächen dem Brachland gleichzustellen. Es ist anzunehmen, dass dies von den Vertragsstaaten allenfalls dann ohne weiteres akzeptiert wird, wenn sowohl Landwirtschaft als auch Waldwirtschaft dem Protokoll unterstellt werden.

Im Folgenden werden die nachstehenden Walddefinitionen einander gegenübergestellt: Kyoto-Protokoll, schweizerisches Landesforstinventar, schweizerische Arealstatistik, FAO (Food and Agriculture Organization), sowie die Definitionen nach dem heute gültigen Waldgesetz und der Waldverordnung. Für eine quantitative Abschätzung des Senkenpotentials sind die ersten drei Definitionen von besonderer Bedeutung. Auf diese Walddefinitionen wird deshalb im Weiteren speziell eingegangen:

Kyotoprotokoll⁴³ KP (Abbildung 1): Prinzipiell besteht die Möglichkeit, alle forstwirtschaftlich genutzten Landflächen in der Schweiz dem KP zu unterstellen, da sie sowohl der Definition für Wald als auch für Forstwirtschaft, wie sie im KP festgelegt ist, entsprechen. Wald besteht gemäss der Definition des KP entweder aus einem geschlossenen Wald mit oder ohne Unterwuchs oder aus offenem Wald, sofern die vorgängig⁴⁴ national festgelegten, weiter unten erläuterten Bedingungen bezüglich Minimalfläche, minimalem Deckungsgrad und minimaler potenzieller Baumhöhe erfüllt sind. Ebenso dazu gehören Naturverjüngungen und Pflanzungen, sofern sie dieselben Bedingungen erfüllen. Dies gilt auch für Flächen, die nach der Holzernte oder nach natürlichen Ereignissen wie Sturm oder Brand für eine begrenzte Zeit unbestockt sind. Immer vorausgesetzt, die Flächen werden nicht einer Nicht-Wald-Nutzung zugeführt. Im KP wird demnach eine Definition verwendet, die der Definition der FAO sehr nahe steht.

Das KP überlässt gewisse Einzelheiten der Walddefinition den Vertragspartnern. So kann beispielsweise für jedes Land eine minimale Fläche von 0.05 bis 1 ha, ein minimaler Deckungsgrad von 10 bis 30 % und eine minimal erreichbare Höhe von 2 bis 5 m gewählt werden. Einmal bestimmt kann diese Wahl jedoch nicht mehr verändert werden, und die Entscheidung muss vor Beginn des Verpflichtungszeitraums gefällt werden.

Landesforstinventar LFI (Brassel & Brändli, 1999) (<http://www.wsl.ch/land/products/lfi/>, Abbildung 1): Als Wald gilt eine bestockte Fläche mit einer minimalen Breite von 25 m und einem Deckungsgrad von 100 %. Bei zunehmender Breite sinkt der erforderliche Deckungsgrad und beträgt bei 50 m noch 20 %. Die minimale Oberhöhe beträgt 3 m. Naturverjüngungen, Pflanzungen (Aufforstungen) und Bestände von Alpenerlen und Legföhren gelten unabhängig von der Oberhöhe als Wald.

Arealstatistik (http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber02/asch/dframe1.htm, Abbildung 1): In der Arealstatistik der Schweiz werden folgende Kategorien unterschieden:

- *geschlossener Wald* mit Normalwald (Breite: > 50 m, Deckungsgrad: > 60 %, Oberhöhe: >3 m, Code 11), Waldstreifen und Waldecken (Code 14, Breite: 25 – 50 m, Deckungsgrad: > 60 %, Oberhöhe: > 3 m), Aufforstungen (Code 9) und Waldschadenflächen (Code 10),

⁴² "Cropland management" is the system of practices on land on which agricultural crops are grown and on land that is set aside or temporarily not being used for crop production: FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58.

⁴³ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58

⁴⁴ Jedes Land muss die Festlegung vor Beginn der ersten Verpflichtungsperiode, d.h. vor dem 1. Januar 2008, und innerhalb der durch die Marrakesh accords bestimmten Bereiche vornehmen.

- *aufgelöster Wald* auf unproduktiven Flächen (Code 12) und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (Code 13, minimale Breite: 50 m, Deckungsgrad: 20 – 60 %, minimale Oberhöhe: 3 m) und
- *Gebüschwald* (Code 15, Breite: > 25 m, Deckungsgrad: > 60 %, Alpenerle, Legföhre, Hasel, Wacholder oder Weiden).

FAO (Watson *et al.*, 2000): Als Wald gilt eine bestockte Fläche mit mehr als 10 % Deckungsgrad. Dies schliesst auch Flächen mit aufwachsenden Bäumen, falls diese den Deckungsgrad erreichen, mit ein.

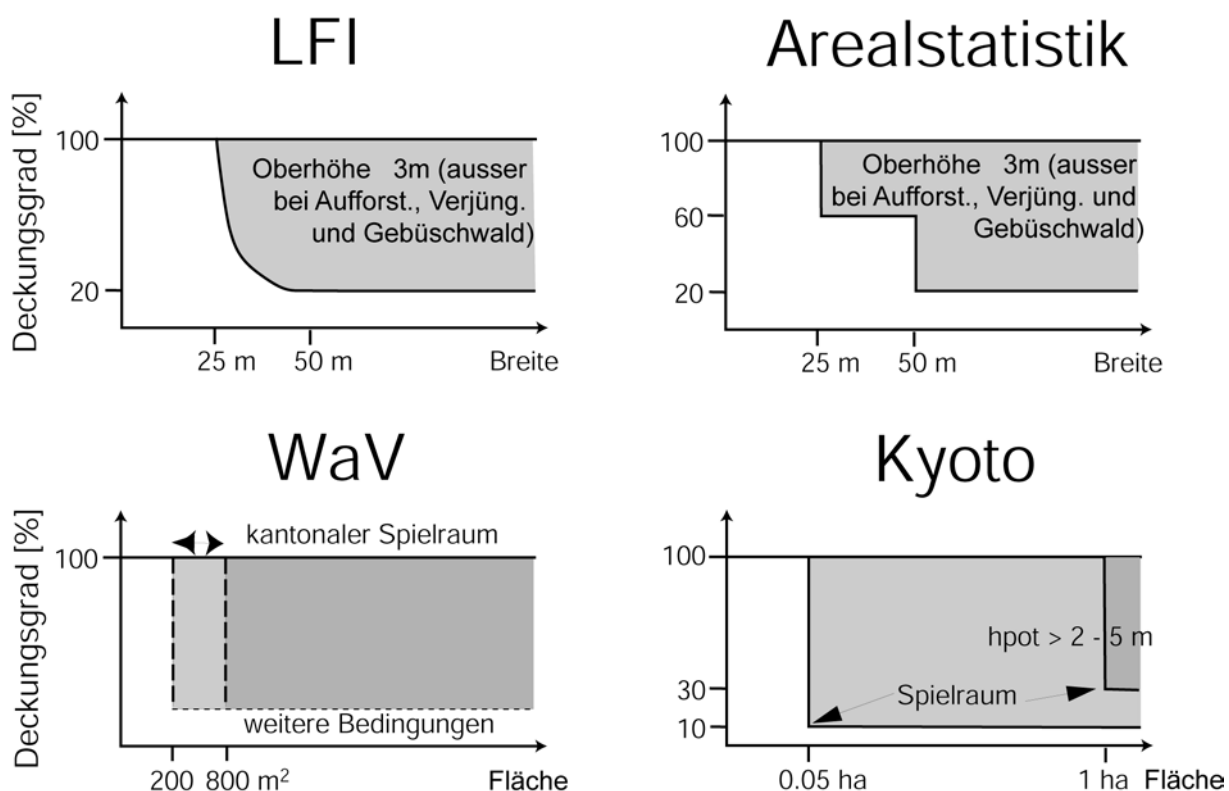


Abbildung 1: Walddefinitionen gemäss Landesforstinventar LFI und Arealstatistik AS und mögliche Walddefinitionen nach Waldverordnung WaV und Kyotoprotokoll KP. Je nach Definition ist die Breite oder die Fläche angegeben. Um den Vergleich zu erleichtern, wurde im zweiten Fall eine quadratische x-Achse gewählt, d. h., bei Annahme einer quadratischen Waldfläche sind die Teilfiguren direkt vergleichbar. Der Deckungsgrad spielt bei der WaV keine Rolle (siehe Text).

Waldgesetz (WaG, SR 921.0), **Waldverordnung** (WaV, 921.01): Als Wald gilt jede Fläche, die mit Waldbäumen oder Waldsträuchern bestockt ist und Waldfunktionen erfüllen kann. Als Wald gelten auch bestockte Weiden, Selven und unbestockte oder ertragslose Böden eines Waldgrundstückes. Wälder haben eine Fläche von mindestens 0.02 – 0.08 ha und eine Breite von mindestens 10 – 12 m, jeweils unter Einschluss eines zweckmässigen Waldsaumes. Bei einwachsenden Flächen muss das Alter der Bäume 10 – 20 Jahre betragen. Die Kantone bestimmen die geltenden Werte innerhalb dieser Bereiche.

Die Walddefinitionen nach LFI und Arealstatistik lassen sich ins Schema der Definition nach KP einfügen (Abbildung 1). Die Definitionen der Normalwaldtypen (Arealstatistik Code 11 – 14) unterscheiden sich von der Definition nach LFI nur wenig. Hingegen unterschreiten die nach Waldverordnung möglichen Flächen die untere Flächengrenze gemäss KP.

1.4.2 RECHTLICHE BEDEUTUNG UNTERSCHIEDLICHER WALDDEFINITIONEN

Aus rechtlicher Sicht ist bei den fünf angeführten Walddefinitionen zu unterscheiden, ob es sich um Rechtsbegriffe handelt oder ob sie lediglich statistisch-instrumentellen Charakter aufweisen.

Für die Schweiz direkt verbindlich sind sowohl die Definition nach Kyotoprotokoll als auch die Definition nach Waldgesetz. Beide haben in je unterschiedlicher Form quantitative Auswirkungen auf den Waldbestand:

- Das Kyoto-Protokoll ist für die Anrechnung der Senkenleistung massgeblich. Dazu müssen Messdaten erhoben werden, was eine zweckmässige Definition des bei statistischen Erhebungen benützten Waldbegriffs wünschenswert macht. Er wird sich im Rahmen des Spielraums befinden müssen, den das Kyoto-Protokoll vorgibt.
- Der Waldbegriff des Waldgesetzes hat dagegen Auswirkungen darauf, ob eine Fläche der Waldgesetzgebung untersteht. Bestimmt wird vor allem die Bewilligungspflicht der Rodung und die Unterstellung einer Fläche unter die Bewirtschaftungsgrundsätze des Waldgesetzes. Nach Waldfeststellungen (obligatorisch, wenn Bauzonen an Wald grenzen) gilt später einwachsender Wald nicht mehr als Wald im Sinne des Waldgesetzes (Art. 13 WaG).

Die Umsetzung des Kyoto-Protokolls ins nationale Recht wird vereinfacht, wenn beide Begriffsdefinitionen deckungsgleich gehandhabt werden. Zum Beispiel können Kompensationspflichten direkt mit Rodungsbewilligungen verbunden werden. Dasselbe gilt für die Anerkennung z. B. der CO₂-Bindung in Waldparzellen als abgeltungswürdige gemeinwirtschaftliche Leistung.

Zur FAO-Walddefinition ist nach Möglichkeit ebenfalls eine Annäherung zu suchen, dies sowohl im Hinblick auf deren programmatische Ausrichtung als auch generell, um die Koordination der internationalen Bemühungen zu erleichtern. Der Handlungsbedarf ist aber weniger akut: In verbindlicher Form kommt dem FAO-Waldbegriff für die Schweiz bis heute nur im Internationalen Tropenholz-Übereinkommen von 1994 (SR 0.921.11) Bedeutung zu, obschon das Übereinkommen nicht quantitativ auf den schweizerischen Waldbestand Bezug nimmt.

Die Walddefinitionen nach Arealstatistik und Landesforstinventar dienen allein statistischen Zwecken. Sie sind so an die rechtlichen Begriffsdefinitionen anzupassen, dass eine einfache Erhebung möglich wird. Für die Übergangszeit genügt vorerst eine annäherungsweise Erhebung, denn die Berechnungsregeln der ersten Verpflichtungsperiode nehmen bewusst Rücksicht auf die innerstaatlichen Schwierigkeiten, die bei der Implementierung entsprechender Messverfahren entstehen⁴⁵.

1.4.3 SCHWIERIGKEITEN EINES BEGRIFFLICHEN NEBENEINANDERS

Benützt man für das Kyotoprotokoll und das Waldgesetz unterschiedliche Definitionen, so ist man zunächst gezwungen, zwei getrennte Buchhaltungen zu führen. Neben diesen administrativen Mehraufwand tritt aber auch ein erhöhter Aufwand im Bereich der Koordination. Synergien unter den verschiedenen Gesetzgebungsbereichen können nur bedingt genutzt werden.

⁴⁵ FCCC/CP/2001/5 p. 46, FCCC/CP/2001/L.6 p. 11 bzw. FCCC/CP/2001/L.7 p. 11, FCCC/CP/2001/13/Add. 1 p. 54 ff.

Beispiele: Für Kyoto-Land inner- und ausserhalb des Waldes gelten unterschiedliche Planungsinstrumente (forstrechtliche Planung auf der einen, Raumplanung auf der anderen Seite). Im einen Fall ist die Planung auf das System Wald ausgerichtet, im anderen auf die gesamte räumliche Entwicklung, mit jeweils anderen Zuständigkeitsbereichen. Bei der Durchführung des KP dürften Schwierigkeiten bei der Anwendung von Art. 3.4 auftauchen, wenn sich die forstrechtliche Walddefinition nicht mit der Kyoto-Definition deckt: Gibt es so etwas wie forest management (nach Kyoto-Verständnis) auch ausserhalb des Waldrechts und welche Tätigkeiten können hierbei als "human-induced" gelten? Und wie ist die Abgrenzung zur Wiederbegrünung ("revegetation") bzw. zum Ackerbau ("cropland management") zu suchen? Im Bereich des nationalen Rechts müssen spezielle Instrumente gefunden werden, die dem KP unterstehende Waldflächen im Nichtwaldgebiet erfassen. Das führt für Senkenleistungen der Landwirtschaft ebenfalls zu einem doppelten Regime innerhalb des nationalen Rechts.

Ist dagegen die für das Kyoto-Protokoll massgebliche Fläche ausschliesslich eine Teilmenge der waldrechtlichen Waldfläche, so werden die – ökologisch vielfach sehr wertvollen – kleineren "Wald"flächen ökonomisch gesehen zu Wald zweiter Klasse, sobald man Ökobeiträge für Senkenleistungen ausspricht.

1.4.4 POLITISCHE RISIKEN UNTERSCHIEDLICH DEFINIERTER WALDFLÄCHEN

Anteilmässig mögen die geschilderten Phänomene geringe Bedeutung haben. Die damit verbundenen politischen Risiken dürfen aber nicht unterschätzt werden. Sie sind mit Koordinationsproblemen verbunden. Es können hier nur beispielhaft einige mögliche Entwicklungen skizziert werden.

1.4.4.1 Auseinanderdriften der Waldflächen nach KP und nach schweizerischem Recht

Die Politik zur Erhaltung des Waldareals könnte in dichter besiedelten Gebieten, wo der Druck auf den Wald besonders gross, die zu schützenden Waldflächen aber umso kleiner sind, zusätzlich bedrängt werden: Wird die Senkenleistung als eine zu fördernde Waldeigenschaft angesehen, so besteht zur Rechtfertigung der Schutzwürdigkeit von Waldflächen, die keinen Beitrag zur Senkenleistung leisten, ein erhöhter Begründungsbedarf. Dies wird verstärkt, wenn zur Erfassung dieser Waldflächen unterschiedliche Waldkarten geführt werden müssen (erhöhter administrativer Aufwand bei knapper Finanzlage). Es ist schwierig zu kommunizieren, dass die nationale Waldstatistik zwingend von der internationalen abweichen soll; Verwechslungen können politisch ausgenützt werden.

1.4.4.2 Angleichung der Begriffe des Kyotoprotokolls und des Waldgesetzes

Die Angleichung kann nur durch eine Änderung der Waldgesetzgebung geschehen. Sie erfolgt auf Kosten der kantonalen Spielräume bei der Festsetzung der Waldfläche. Mutet man den Kantonen zu, die aufgrund des Gesetzes als Wald ausgeschiedene Waldfläche auszudehnen (Einbezug auch kleinerer Flächen), so sind erhebliche Widerstände zu erwarten (Verlust von potenziellem Bauland). Hebt man die kleinste als Wald deklarierbare Fläche an, wird dies umgekehrt umweltpolitische Bedenken hervorrufen.

Insgesamt werden die unterschiedlichen rechtlichen Konsequenzen in Zukunft eine grössere Rolle spielen. Die Anforderungen des KPs werden sich auf die nationalen Begriffsdefinitionen auswirken.

1.4.5 ANREGUNGEN ZUR PROBLEMLÖSUNG

Ausgehend von der Vermutung, dass die Schweiz früher oder später rechtliche Anpassungen vornehmen muss, da sich die verbleibenden Unstimmigkeiten auf die Dauer nachteilig auswirken dürften, werden folgende Lösungsvorschläge unterbreitet:

Die landwirtschaftlichen Aspekte der Senkenleistung sollten mit den waldwirtschaftlichen auf nationaler Ebene verknüpft werden. Dann spielt es nicht so eine Rolle, ob unter forstwirtschaftlichen oder unter landwirtschaftlichen Gesichtspunkten Senkenleistungen (auf welche Art auch immer) abgegolten werden.

Längerfristig ist an eine Vereinheitlichung der Waldbegriffe zu denken. Das betrifft insbesondere Waldflächen, denen als Öko- und Erholungsflächen lokal-regionale Bedeutung zukommt. Der kantonale Spielraum für die Festsetzung der Walddefinition kann nur dann ohne Verluste für die ökologische und landschaftliche Qualität einer Region eingeschränkt werden, wenn den Kantonen zugleich ein anderes planerisches Instrument zum qualitätsunabhängigen quantitativen Schutz von Bestockungen in die Hand gegeben wird. Es wäre wohl am sinnvollsten ins Raumplanungsrecht zu integrieren. Dies erlaubt die Verbindung mit raumökologischen Planungen wie z. B. Landschaftsentwicklungskonzepten.

1.5 Artikel 3.3 des Kyotoprotokolls

Nach Artikel 3 Absatz 3 des KPs (Art. 3.3) müssen alle biologischen Quellen und Senken auf Landflächen, die von einer der definierten *direkten menschlichen* (human induced) Tätigkeiten betroffen sind in der Gesamtbilanz der Vertragspartei in der nationalen Bilanz verrechnet werden. Als solche Tätigkeiten gelten *Aufforstung* (afforestation), *Wiederaufforstung* (reforestation) oder *Entwaldung* (deforestation) Im Unterschied zu Art. 3.4 haben hier die Vertragsparteien keine Wahlmöglichkeit, d.h. diese Regelung gilt schon ab dem ersten *Verpflichtungszeitraum* (commitment period 2008 – 2012).

Wird in einem Industrieland durch Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung auf den betroffenen Flächen insgesamt mehr Kohlendioxid aufgenommen als emittiert, summieren sich die unter diesem Artikel angerechneten biologischen Quellen und Senken zu einer nationalen Senkenwirkung (gemessen als Bestandesänderung der Kohlenstoffvorräte im Verpflichtungszeitraum 2008 – 2012). Eine solche Senkenwirkung erhöht die Menge erlaubter *Emissionen* (assigned amount). Sollte sich in umgekehrter Weise durch die Addition der Quellen und Senken eines Industrielandes netto eine Quelle ergeben, vermindert sich die Menge an erlaubten Emissionen entsprechend.

Hier gilt es nun, die Beschlüsse von Marrakesch zu beachten. Nur Flächen, auf denen direkte menschliche Tätigkeiten (Auf-, Wiederaufforstung und Rodungen) seit dem 01.01.1990 ("since 1990") ausgeführt wurden, sind von der Senkenregelung betroffen. Es sind demnach die sogenannten Tätigkeiten Auf-, Wiederaufforstung und Rodung, die eine Waldfläche zum Kyotowald machen.

Unter *Aufforstung* wird eine Änderung der Landnutzung von Nicht-Wald zu Wald nach 1990 verstanden, falls dieser Wechsel durch direkte menschliche Einwirkungen zustande kommt. Im Unterschied zur Wiederaufforstung darf auf der Aufforstungsfläche "historisch" (seit mindestens 50 Jahren) kein Wald existiert haben. Eine natürlich vergangende Fläche, die ohne menschliches Zutun neu zu Wald wird, darf nach Art. 3.3 nicht als Senke angerechnet werden, weil die direkte menschliche Einwirkung fehlt. Diese Voraussetzung einer menschlichen Einwirkung führt deshalb dazu, dass unbewirtschaftete Wälder nach den gültigen Richtlinien von IPCC auszuklammern sind. Es wird davon ausgegangen, dass die

nicht bewirtschafteten Wälder sich annähernd in einem Gleichgewichtszustand befinden und weder als Kohlenstoffquelle noch als -senke in Erscheinung treten (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997) Ausschlaggebend ist, dass keine menschliche Tätigkeit auf diesen Flächen stattfindet. Anrechenbar sind somit lediglich Landnutzungsänderungen, die durch das Anpflanzen oder Säen von Bäumen sowie durch die Förderung natürlicher Verjüngung⁴⁶ zustande kommen.

Unter *Wiederaufforstung* wird wiederum eine durch direkte menschliche Einwirkungen ausgelöste Änderung der Landnutzung von Nicht-Wald zu Wald nach 1990 verstanden. Im Unterschied zur Aufforstung genügt es aber, dass die Fläche am 31. Dezember 1989 Nicht-Wald war.

Unter *Entwaldung* (Rodung) wird eine Änderung der Landnutzung von Wald zu Nicht-Wald nach 1990 verstanden, falls dieser Wechsel durch direkte menschliche Einwirkung zustande kommt⁴⁷. Eine Zerstörung der Bestockung durch natürliche Ereignisse wie einen Sturm (z. B. Lothar) ist dementsprechend nur dann mitzurechnen, wenn die Fläche danach bleibend einer landwirtschaftlichen oder baulichen Nutzung zugeführt wird. Das zwangsgenutzte Holz wird gleich wie bei einer normalen forstwirtschaftlichen Nutzung erfasst (KP Art. 3.4, siehe unten).

In allen drei Fällen (Aufforstung, Wiederaufforstung und Rodung) sind die Veränderungen des gesamten Kohlenstoffvorrates der betroffenen Landschaftsausschnitte – den Boden mit eingeschlossen – zu berücksichtigen. Es gilt auch zu beachten, dass jegliche Senkenwirkung während des ersten Verpflichtungszeitraums als nachprüfbar Bestandesänderung der Kohlenstoffvorräte ausgewiesen werden muss. Dazu gehört auch eine geographische Lokalisierung der jeweiligen Flächen. Schliesslich ist zur Kenntnis zu nehmen, dass eine Fläche, die einmal dem Art. 3.3 unterworfen wurde, diesem bis auf weiteres, d.h. auch während allen weiteren Verpflichtungszeiträumen, unterstellt bleibt.

1.6 Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls

Dieser Artikel eröffnet neben den in 3.3 genannten Tätigkeiten, die eine Landnutzungsänderung bewirken, auch die Möglichkeit, Massnahmen innerhalb einer gleichbleibenden Landnutzung zu berücksichtigen. Es werden damit Änderungen der Bewirtschaftungsweise in der *Forstwirtschaft* (forestry) und *Landwirtschaft* (grassland, cropland, revegetation) angesprochen. Folgende Tätigkeiten berechtigen zu einer Anrechnung der Senkenleistung: Wiederbegrünung (Revegetation), Waldwirtschaft (Forest management), Ackerbau (Cropland management) und Grünlandbewirtschaftung (Grazing land management). Wiederum besteht die Forderung, dass diese Tätigkeiten nach 1990 stattgefunden haben und dass sie durch menschlichen Einfluss, sei er nun direkt oder indirekt, zustande gekommen sind.

Für den ersten Verpflichtungszeitraum hat jede Vertragspartei die Möglichkeit bis spätestens zu Beginn der Verpflichtungsperiode zu entscheiden, welche der genannten Tätigkeiten sie zu berücksichtigen wünscht. Es ist damit zu rechnen, dass ab dem zweiten Verpflichtungszeitraum keine derartige Wahlmöglichkeit mehr bestehen wird und dass dann alle landbasierten Bewirtschaftungsformen in der nationalen THG-Bilanz angegeben werden müssen.

⁴⁶ Hier wird die im Einzelnen noch zu interpretierende Formulierung "human-induced promotion of natural seed sources" angesprochen (FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58)

⁴⁷ Es ist anzunehmen, dass sich der Begriff der Entwaldung ("deforestation") nach FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 58 und der walddesetzliche Begriff der "Rodung" nach Art. 4 WaG [„Als Rodung gilt die dauernde oder vorübergehende Zweckentfremdung von Waldboden“] in der Praxis entsprechen.

Nicht nur in der Schweiz fällt die Forstwirtschaft als Senkenkategorie quantitativ am stärksten ins Gewicht. Angesichts der grossen Probleme, den menschlichen Anteil an dieser Senkenleistung von natürlichen Effekten zu unterscheiden – hier seien als Beispiel die CO₂-Düngung oder Alterseffekte genannt –, ist für jedes Land im Forstbereich eine Obergrenze für die anrechenbare Senkenleistung unter Art. 3.4 bestimmt worden⁴⁸. Für die Schweiz beträgt diese Obergrenze (Cap) 0.5 Mt CO₂ (Equiv)-C pro Jahr. Es gilt zu bedenken, dass allfällige forstwirtschaftliche JI-Senkenprojekte hier auch mitzuzählen sind.

⁴⁸ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 63

2 DER KOHLENSTOFFKREISLAUF UND DIE ROLLE DER SENKEN

Um Senken zu verstehen, ist es von Vorteil, die wichtigsten Eigenheiten des sog. Kohlenstoffkreislaufes zu kennen. Alle Ökosysteme auf dem Land sowie in den Meeren bringen Kohlenstoff in verschiedenen Grössenordnungen in Umlauf. Der globale Kohlenstoffkreislauf ist von besonderer Bedeutung, um die Rolle der Senken aus der Sicht des Klimaschutzes und der damit zusammenhängenden Klimapolitik beurteilen zu können.

Der globale Kohlenstoffkreislauf kann als ein System zusammenhängender Kompartimente verstanden werden. Jedes Kompartiment entspricht einem Kohlenstoffvorrat (C-Vorrat) der sich stöchiometrisch jederzeit auch auf einen CO₂-Vorrat und umgekehrt umrechnen lässt⁴⁹. Die wichtigsten Kompartimente sind die terrestrische und marine Biomasse, die Böden (Pedosphäre) und Sedimente (Lithosphäre), sowie die Atmosphäre (s. Abbildung 2). Der Vorrat an Kohlenstoff beläuft sich in der Atmosphäre auf ungefähr 760 Gt C. In der Biosphäre ist der Vorrat etwa dreimal so gross wie in der Atmosphäre, d.h. ca. 2'500 Gt C, wenn man die Böden mitberücksichtigt. Noch viel grösser ist der gespeicherte Kohlenstoffvorrat in den Weltmeeren (39'000 Gt C) und schliesslich in der Lithosphäre (insbesondere den Sedimentgesteinen), wo er ca. 61'000'000 Gt C beträgt (Garrels *et al.*, 1975; Watson *et al.*, 2000).

Zwischen diesen Kompartimenten wird ständig in riesigen Mengen Kohlenstoff ausgetauscht (s. Abbildung 2). Dies erfolgt durch die gegenläufigen Prozesse der Primärproduktion (v. a. Photosynthese) und der Respiration (Atmung). Diese Prozesse treiben einen Kohlenstoffkreislauf an, der im Wesentlichen gasförmig über das Kohlendioxid-Molekül (CO₂) verläuft. Es sind v. a. die grünen Pflanzen, die mit Hilfe der Sonnenenergie aus atmosphärischem CO₂ und Wasser Glucose aufbauen. Dabei wird sozusagen als Nebenprodukt auch Sauerstoff an die Atmosphäre abgegeben. Einen quantitativ ins Gewicht fallenden C-Austausch gibt es über dem Land und dem Meer. Über den Kontinenten werden so pro Jahr in der Grössenordnung von 120 Gt C ausgetauscht. Über den Ozeanen ist es etwas weniger, nämlich ca. 90 Gt C/a. Hierbei gilt es zu beachten, dass über die Atmosphäre alle Kompartimente miteinander verbunden sind. Infolge der oxidativen Wirkung der Atmosphäre liegt hier C praktisch hauptsächlich in Form von CO₂ vor. Wie neueste Untersuchungen bestätigen, wird das CO₂ relativ schnell durchmischt, so dass wirklich von einem globalen Kohlenstoffkreislauf gesprochen werden kann.

Im Zusammenhang mit Senken ist ebenfalls wichtig zu verstehen, dass nicht alle C-Flüsse gleich schnell fliessen. Es sind verschiedene Zeitskalen zu unterscheiden. Es gibt chemische Reaktionen, die langsam und nur über geologische Zeiträume relevant werden und schnellere, biologische Prozesse die heute für den Verlauf der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von entscheidender Bedeutung sind (Watson, 2001). Es kann demnach von einem grossen, geologischen Kreislauf gesprochen werden, der in den Sedimentgesteinen (in terrestrischen und marinen Böden) über immense Kohlenstoffvorräte verfügt, die sehr langsam umgesetzt werden (Verweildauer bis zu Millionen von Jahren). Dieser Kreislauf hat in der geologischen Vergangenheit eine entscheidende Rolle für die Bildung der fossilen Brennstoffe gespielt. Demgegenüber besitzen die biologischen Kohlenstoffkreisläufe eine viel kürzere Umwälzzeit, die von Sekunden bis zu Jahrtausenden reicht. Die Kohlenstoffflüsse hängen auch stark vom jeweiligen Ökosystemtyp ab sowie von aktuellen Umweltbedingungen, insbesondere dem Klima. So kann C durch planktische Algen beispielsweise binnen weniger Wochen umgesetzt

⁴⁹ $C / CO_2 = 12 / (12 + 2 * 16) = 12 / 44 = 1 / 3.67$

werden, wogegen Gehölze einen wesentlichen Teil des C bloss über mehrere Jahrzehnte bis Jahrhunderte hinweg umwälzen. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass alle diese Flüsse über die Atmosphäre miteinander verbunden sind und im Einzelnen selten scharf auseinandergehalten werden können. Ihre Gesamtwirkung bleibt jedoch von zentraler Bedeutung und kann heute in vieler Hinsicht einigermaßen befriedigend gut abgeschätzt werden (Watson *et al.*, 2000).

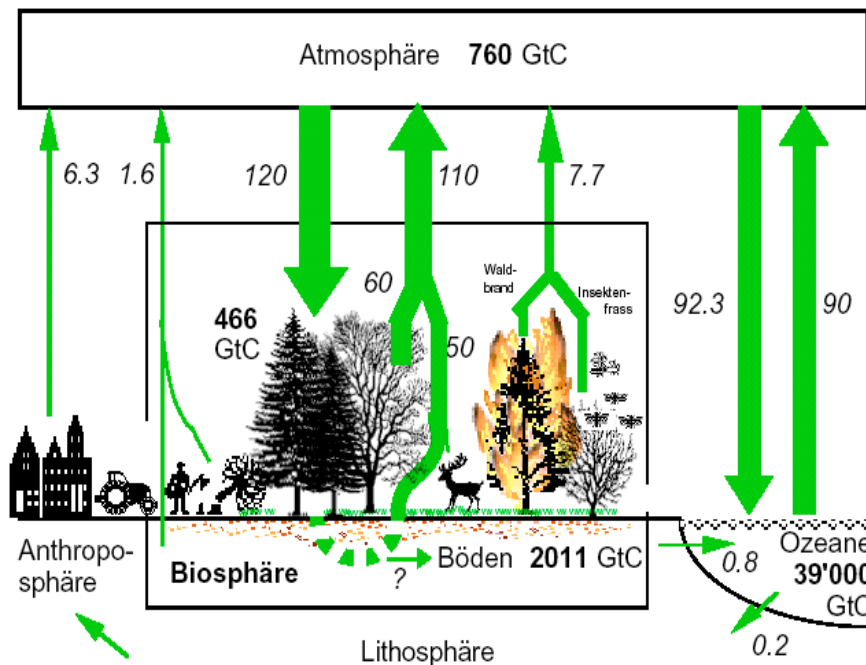


Abbildung 2: Der globale Kohlenstoffkreislauf. Die fettgedruckten Zahlen stehen für die Kohlenstoffvorräte, die kursiven für jährliche Kohlenstoffflüsse in Gigatonnen (GtC). (Grafik Fischlin / Daten IPCC Watson *et al.*, 2000)

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, speichert der Boden global ungefähr viermal soviel Kohlenstoff wie die oberirdische Vegetation. Auf die Schweiz bezogen bedeutet dies, dass vom Gesamtvorrat von 600 Mio Tonnen Kohlenstoff (Paulsen, 1995) ca. 75% auf die Böden entfallen (Perruchoud & Fischlin, 1995; Perruchoud, 1996; Perruchoud *et al.*, 1998; Perruchoud *et al.*, 1999; Perruchoud *et al.*, 2000). 90% des in der Vegetation oberirdisch gespeicherten Kohlenstoffs befindet sich in den Wäldern. Global gesehen ist im Holz aller Wälder über 85% des in Pflanzen gebundenen Kohlenstoffes enthalten (Watson *et al.*, 2000).

Seit der Industrialisierung überlagern den natürlichen Kohlenstoffkreislauf CO₂-Emissionen, die der Mensch verursacht. Von 1890 bis 1998 wurden ungefähr 270 (± 30) Gt Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid in die Atmosphäre entlassen (Watson *et al.*, 2000). Diese anthropogen verursachten Kohlenstoffflüsse entstehen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) und die Herstellung von Zement aus Kalkstein. Die Rodung tropischer Regenwälder und der damit verbundene Humusabbau bewirkte in der gleichen Zeitspanne eine zusätzliche Freisetzung von 136 (± 55) Gt C (Watson *et al.*, 2000).

Da man anfänglich von einem Gleichgewicht zwischen der terrestrischen Photosynthese und der terrestrischen Respiration ausging, wurde lange Zeit angenommen, dass die Ozeane die Differenz zwischen der Höhe der anthropogenen Emissionen und den gemessenen Kohlenstoffkonzentrationen in der Atmosphäre aufnahmen (Schindler, 1999). Tatsächlich verschwinden ungefähr 45% des jährlich anthropogen in die Atmosphäre emittierten CO₂ aus ihr

gleich wieder (Schimel, 1995). Detaillierte Kohlenstoffflussmessungen über dem Oberflächenwasser der Meere widerlegen jedoch diese Theorie (Tans *et al.*, 1990) und zeigen, dass der jährliche Kohlenstofffluss in die Ozeane weniger als ursprünglich angenommen ausmacht. Heute geht man – wie aus Tabelle 1 ablesbar – von 2.0 bzw. 2.3 ± 0.8 Gt C pro Jahr aus. Die verbleibende Senke von ungefähr 1.9 bzw. 2.3 ± 1.3 Gt C (26%) der anthropogen verursachten Emissionen konnte in neuerer Zeit der terrestrischen Vegetation, genauer der terrestrischen Ökosphäre der nördlichen Hemisphäre, zugeschrieben werden (Schimel, 1995).

Tabelle 1: Globales CO₂-Budget in Gigatonnen pro Jahr (Watson *et al.*, 2000)

	1980 – 1989	1989 – 1998
1) Emissionen durch Verbrennung und Zementproduktion	5.5 ± 0.5	6.3 ± 0.6
2) Speicherung in der Atmosphäre	3.3 ± 0.2	3.3 ± 0.2
3) Aufnahme durch die Ozeane	2.0 ± 0.8	2.3 ± 0.8
4) Nettoaufnahme durch die terrestrische Vegetation = 1 – (2 + 3)	0.2 ± 1.0	0.7 ± 1.0
5) Emissionen von Landnutzungsänderungen	1.7 ± 0.8	1.6 ± 0.8
6) Total der terrestrischen Aufnahme = 4 + 5	1.9 ± 1.3	2.3 ± 1.3

Diese starke C-Absorption der Wälder der nördlichen Hemisphäre wird heute zu einem grossen Teil dem Altersstruktureffekt zugeschrieben (z. B. Watson *et al.*, 2000). Nach der starken Nutzung der Wälder im letzten Jahrhundert findet nun ein Auf- und Nachwachsen von Waldflächen statt. Ein weiterer Grund für die Vorratserhöhung wird dem CO₂-Düngungseffekt und dem Stickstoffeintrag zugeschrieben, wobei letzterer durch Niederschlag aus der Atmosphäre der Vegetation zugeführt wird. Ebenfalls von Bedeutung ist vermutlich die Klimaerwärmung.

Die zusätzlichen, anthropogenen Emissionen führen zu einem CO₂-Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre. Aus Bohrkernen des antarktischen Eisschildes konnte eruiert werden, dass in den letzten 400'000 Jahren der Konzentrationswert von 290 ppmv (parts per million by volume) CO₂ nie überschritten worden ist (Metz, 2001). 1957 wurde auf dem Mauna Loa (Hawaii) eine CO₂-Konzentration von 315 ppmv gemessen (Keeling & Whorf, 2002). Im Jahre 2000 betrug sie bereits 368 ppmv (Watson *et al.*, 2000; Metz, 2001). In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts wird sich bei gleichbleibender Zunahme die gesamte CO₂-Menge in der Atmosphäre verdoppelt haben.

Die Zunahme des CO₂-Gehaltes ist abhängig von der weiteren Entwicklung der Emissionen (Houghton *et al.*, 1997). Damit sich der Gehalt längerfristig auf 450 ppm (80 ppm grösser als jetzt) stabilisiert, muss die CO₂-Emission bis Ende dieses Jahrhunderts auf etwa einen Drittel des jetzigen Wertes reduziert werden und bis Ende des 22. Jahrhunderts auf etwa einen Fünftel (Watson & Core Writing Team, 2001).

Kohlendioxid, das langwellige Sonnenstrahlung absorbiert, ist zu rund 60% am verstärkten Treibhauseffekt beteiligt (Metz, 2001). Zudem steigt auch die atmosphärische Konzentration anderer wichtiger THG wie z. B. CH₄ und N₂O weiterhin stark an (Nakicenovic *et al.*, 2000; Watson, 2001). Es wird deshalb mit einer Erwärmung der Atmosphäre und damit verbundenen Änderungen in der globalen Zirkulation gerechnet. Temperatur- und Niederschlagsregime ändern sich bereits heute, was sich wiederum auf die Ökosysteme ausgewirkt hat und sich noch weiter auswirken wird (z. B. Kirschbaum & Fischlin, 1996; Gitay *et al.*, 2001; Watson, 2001). Zudem wird auch die veränderte chemische Zusammensetzung der Umgebungsluft

nicht ohne Folgen für den Stoffhaushalt von Ökosystemen (Ökophysiologie) bleiben (z. B. Körner, 1999; Körner, 2000).

Alle möglichen Auswirkungen einer höheren CO₂-Konzentration in der Luft und eines Temperaturanstieges können heute nur ungefähr abgeschätzt werden: In den sich erwärmenden Ozeanen könnte sich die CO₂-Aufnahmefähigkeit verringern, so dass weniger atmosphärisches CO₂ ins Meerwasser eingebunden würde. In den Böden könnte eine Temperaturzunahme die Zersetzung organischen Materials durch Bodenorganismen beschleunigen (Bodenatmung) (Lloyd & Taylor, 1994). Dadurch würde vermehrt CO₂ freigesetzt. Umgekehrt ist bekannt, dass erhöhte CO₂-Konzentrationen dazu führen, dass unter gewissen Bedingungen vermehrt C in Ökosysteme eingebunden werden kann (CO₂-Düngungseffekt) (Schimel, 1995). Die Vegetation reagiert, zum Teil stark vom Bodentyp abhängig, sehr unterschiedlich (von einer Zunahme der Biomassenproduktion bis hin zu sehr schwachen Reaktionen) auf die Zunahme von CO₂ und Stickstoff in der Atmosphäre (Egli *et al.*, 2001). Die beschleunigte Bestandesentwicklung kann mit kürzeren Lebenszeiten der Pflanzen und verkürzter Umtriebszeit verknüpft sein, so dass die Kohlenstoffbindung in der Ökosphäre nicht unbedingt nachhaltig gesteigert wird (Körner, 1995). Aufgrund der unterschiedlichen Reaktionen der Pflanzen auf das erhöhte Kohlendioxid- oder Stickstoffangebot kann sich langfristig die genetische Zusammensetzung von Pflanzenbeständen und damit ihre Funktion verändern. Für die Schweiz könnte dies u. a. bedeuten, dass sich die potentielle Waldgrenze in höhere Lagen verschiebt. Das würde eine Vergrößerung der potentiell waldfähigen Fläche bedeuten, wobei der Bewaldungsprozess u. U. Jahrhunderte in Anspruch nehmen würde (Bugmann, 1997; Fischlin & Gyalistras, 1997; Bugmann & Pfister, 2000).

Sollte sich ein neues Gleichgewicht im Klimasystem einstellen, wird es sich aufgrund der verzögerten Reaktionen der Wälder (Jahrhunderte), der Ozeane (Jahrtausende) bis hin zu den Böden (Jahrtausende) erst nach sehr langen Zeiträumen bei ansonsten ungestörter Zusammensetzung der Atmosphäre wieder einstellen.

Für die Rolle der Senken ist entscheidend, dass zum heutigen Zeitpunkt netto eine Senkenleistung resultiert (Watson *et al.*, 2000). Dadurch kommt eine die Klimaänderung abschwächende Wirkung zustande (negative Rückkopplung).

Diese Senkenleistung setzt sich allerdings aus zwei gegenläufigen Flüssen zusammen. Einerseits gibt es eine zunehmende Entwaldung vorwiegend in Regionen auf der südlichen Hemisphäre, die weltweit 1.6 Gt C/a Verlust an C aus der Biosphäre bedeuten (s. Abbildung 2, Tabelle 1). Andererseits nimmt die nördliche Hemisphäre die grosse Menge von 2.3 Gt C/a wieder auf. Netto resultiert immer noch eine Senkenwirkung von 0.7 Gt C/a. Politisch ist nicht unerheblich, dass trotz dieser Nettosenkenwirkung der Biosphäre die atmosphärischen CO₂-Konzentrationen in der beobachteten Masse angestiegen sind und auch noch weiter ansteigen werden. Die Senkenwirkung in der nördlichen Hemisphäre kommt hingegen nur teilweise dank "echter Verdienste" zustande, d.h. durch menschliche Bemühungen, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu berücksichtigen wären.

Des Weiteren scheint diese Nettosenkenwirkung zurzeit leicht anzusteigen, da sich in den 90-er Jahren die biosphärische Senkenleistung (residual terrestrial uptake, 2.3 Gt C/a) gegenüber den 80-er Jahren (1.9 Gt C/a) nochmals leicht erhöhte und sich parallel die Quellenleistung leicht verminderte (Tabelle 1). Vergleicht man mit noch früheren Perioden (z. B. Garrels *et al.*, 1975) so ergibt sich ein deutlicher Trend der Zunahme. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass diese Werte mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet sind (± 1.3 Gt C/a).

Darüber hinaus gilt es auch zu beachten, dass neueste Untersuchungen deutlich darauf hinweisen, dass diese Zunahme nicht ungebrochen weitergehen wird. So zeigen neueste Modellrechnungen (cf. Watson, 2001), dass sich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts die Senkenleistung in ihr Gegenteil umkehren könnte und dann netto ein Verlust an C aus der Biosphäre resultiert. Damit würde ein Teufelskreis entstehen (positive Rückkopplung), d.h. die Klimaänderung würde durch eine solche Entwicklung sogar noch beschleunigt.

3 SENKEN IN DER SCHWEIZ

3.1 Senken und Kohlenstoffvorräte in Land- und Forstwirtschaft

Die biologischen Kohlenstoffvorräte der Schweiz befinden sich in den Böden, in der Vegetation, vor allem in den Wäldern, und in den Gebäuden (Bauholz). Es gibt zurzeit keine alles umfassende Statistik. Paulsen (1995) hat mit Hilfe diverser Quellen die Vorräte erstmals umfassend geschätzt. Weitere Angaben hierzu finden sich auch in Fischlin & Bugmann (1994b) und Fischlin & Bugmann (1994a).

Drei Viertel des biologischen Kohlenstoffs befinden sich gemäss Paulsen (1995) in den potentiell landwirtschaftlich nutzbaren Böden (also inkl. der jetzigen Waldböden), nämlich etwa 450 Tg (Mio. t), was 15 kg/m² entspricht. Nach Perruchoud et al. (2000) enthalten die Waldböden 110 Tg C oder 10 kg/m². Die Kohlenstoffvorräte der Vegetation befinden sich vor allem in den Wäldern (135 Tg C).

Die biologischen Kohlenstoffvorräte befinden sich nicht im Gleichgewicht. **Im Wald Mitteleuropas** nehmen sie zur Zeit zu. Jahrhundertlang war der Wald unerschöpflicher Energie- (Brennholz, Holzkohle) und Materiallieferant (Bauholz) und diente auch als potentiell landwirtschaftlich nutzbares Land. Aufgrund unterschiedlicher Ansprüche zwischen Stadt und Land traten im 16. Jahrhundert lokal Nutzungskonflikte auf. Trotz diverser Bemühungen blieb der Schutz des Waldes bis Mitte des 19. Jahrhunderts an den meisten Orten ungenügend. Einerseits war die Bevölkerung zu stark auf die Nutzung des Waldes angewiesen. Andererseits stimmten Besitzverhältnisse und Nutzungs- und Schutzinteressen nicht überein. Die damaligen Zustände entsprechen in mancher Hinsicht denjenigen in den heutigen Entwicklungsländern.

Mehrere Überschwemmungen mit gravierenden Folgen ebneten im 19. Jahrhundert den Weg zur Erkenntnis, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes dem Menschen auf die Dauer den grössten Nutzen bringt. Diese Entwicklung wäre aber ohne den Bau von Eisenbahnen, die den billigen Transport von Energie (Kohle) und von Baumaterialien (Eisen) ermöglichten, nie derart schnell umsetzbar gewesen.

Das erste Forstgesetz von 1876 bildete den rechtlichen Rahmen. In den darauffolgenden Jahrzehnten nahmen die Holzvorräte im Wald als Folge entsprechender Planung zu und landwirtschaftliche Flächen im Einzugsgebiet von Wildbächen wurden aufgeforstet. Dieser Trend wurde nur kurz durch die Rodungen im 2. Weltkrieg unterbrochen. Mit dem Ersetzen der Kohle durch das Erdöl und den weiter verbilligten internationalen Transporten nach dem 2. Weltkrieg sanken die Holzpreise, während die Arbeitskosten stetig stiegen. Diese Trends halten weiterhin an. Die Wälder werden je länger je weniger genutzt, die Holzvorräte nehmen entgegen der forstlichen Planung weiter zu. In der Landwirtschaft führt eine ähnliche Entwicklung zur Aufgabe ertragsarmer Böden (Vergandung), wo im Laufe der Zeit wieder Wald entsteht. Die Waldfläche in den Alpen nahm und nimmt daher immer noch zu und dementsprechend steigt auch der Kohlenstoffvorrat der Wälder.

In der **Landwirtschaft** sieht die Situation anders aus. Im Vergleich zu den Wäldern enthalten landwirtschaftliche Kulturen nur etwa 1/20 an oberirdischem Kohlenstoff (Paulsen, 1995). Die mineralischen Böden befinden sich vermutlich in einem Gleichgewicht und enthalten pro Fläche etwas weniger Kohlenstoff als Waldböden. Durch veränderte Nutzung (z. B. pflugloser Anbau) könnte die Kohlenstoffmenge teilweise noch etwas erhöht werden (Smith *et al.*,

1998). Die organischen Böden der Landwirtschaft, vor allem ehemalige Flachmoore, teilweise aber auch Hochmoore, sind erst seit 50 bis 120 Jahren unter dem Pflug und werden an den meisten Orten v. a. infolge der Bewirtschaftung in erheblichem Masse abgebaut (Presler & Gysi, 1989). Diese Quelle könnte durch Aufgabe der Drainage und evtl. zusätzliche aktive Anhebung des Grundwasserspiegels verringert oder gestoppt werden. Die damit verbundene Nutzungsänderung würde in heutiger Zeit vermutlich die Aufgabe der intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, mindestens aber eine Umwandlung von Ackerbau zu Grünlandnutzung bedeuten.

3.2 Datensätze in Land- und Forstwirtschaft

Um die Rolle der Senken und Quellen in der Schweiz zu beurteilen, müssen die zurzeit vorhandenen C-Flüsse in und aus Landflächen abgeschätzt werden. Dazu existieren bereits diverse Datensätze in der Land- und Forstwirtschaft. Für die Forstwirtschaft sind dies die zwei Landesforstinventare (LFI 1 und 2 EAFV, 1988; Brassel & Brändli, 1999), die Forststatistik (Anonymous, 2000), die Arealstatistik auf der Grundlage der Landeskarte, für den Kohlenstoffvorrat im Waldboden die Waldzustandsinventur (Lüscher *et al.*, 1994) und für die Landwirtschaft die zur Zeit laufenden Forschungsarbeiten an der Forschungsanstalt FAL (Reckenholz, Zürich). Im Folgenden werden diese Datensätze kurz erläutert und anschliessend ihre Aussagekraft für die Abschätzung von Senken und Quellen kommentiert.

3.2.1 LANDESFORSTINVENTAR

Das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) wurde mit einem zweistufigen Stichprobenverfahren bisher zweimal, nämlich 1983 – 1985 (EAFV, 1988) und 1993 – 1995 (Brassel & Brändli, 1999) erhoben. In einem ersten Schritt wurde anhand von Luftbildern (LFI 1: 1x1 km, LFI 2: 0.5x0.5 km, Tabelle 2) der Schweizer Landestopographie und der Walddefinition (siehe Abbildung 1) entschieden, ob die Stichprobe (Probefläche 50x50m) im Wald, im Gebüschwald oder ausserhalb des Waldes liegt. Im LFI 1 wurde jede mit Hilfe eines Luftbilds als Wald ausgeschiedene, zugängliche Probefläche durch eine terrestrische Aufnahme eingehend beschrieben, im LFI 2 – bei einer 4-fachen Anzahl Luftbilder – nur noch jede 8. Fläche.

Die Stichproben liegen beim LFI 1 auf den Knoten des 1 km-Landeskarten-Netzes (ca. 12'000 Probeflächen im Wald): Beim LFI 2 fehlt im Vergleich zum LFI1 jeder zweite Knoten, was ein um 45 Grad gedrehtes 1.4 km-Netz ergibt (ca. 6'000 Probeflächen im Wald). Anhand eines 4 km-Netzes wurde beim LFI 2 die Repräsentativität des 1.4 km-Netzes überprüft.

Tabelle 2: Stichprobennetze der beiden Inventuren LFI 1 und LFI 2

	Abstand der Stichproben	Art der Aufnahme	Bemerkung
LFI 1	1 km	Luftbild und terrestrisch	Kilometernetz der Landeskoordinaten
LFI 2	500 m	Luftbild	Halbkilometernetz
LFI 2	1.4 km ($\sqrt{2}$)	terrestrisch	Hälfte des 1 km-Netzes, gerade x-Werte bei ungeraden y-Werten und umgekehrt
LFI 2	4 km	terrestrisch	500 m südl. und 500 m östl. verschoben zum 1.4 km-Netz

Das Probeflächenzentrum beider LFIs wurde, damit es bei einem folgenden LFI einfacher wieder aufgefunden werden kann, mit einem Metallrohr im Boden gekennzeichnet. Auf einer 200 m² grossen Kreisfläche werden alle Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von mindestens 12 cm und in einem 500 m² grossen Kreis alle Bäume mit BHD von mindestens 36 cm erfasst.

3.2.2 AREALSTATISTIK

Bisher wurde der Zustand der Bodennutzung mit der Methode der stichprobenweisen Luftbildinterpretation zweimal (1979/85 und 1992/97) erhoben. Als Grundlage der Erhebung dienten die Luftbilder der Landestopographie, denen ein Stichprobennetz von 100 m Maschenweite überlagert wurde. Jedem Stichprobenpunkt (4.1 Mio.) wurde eine der 74 Nutzungskriterien zugeordnet. Die Nutzungskategorien 9 – 19 betreffen verschiedene Typen von Wald, Gebüschwald und Gehölzen.

Analog zum LFI ist der Wald auch in der Arealstatistik durch Breite, Deckungsgrad und Oberhöhe definiert. Die Walddefinitionen von LFI und Arealstatistik sind bei aller Ähnlichkeit nicht identisch (siehe Abbildung 1). Bei der Arealstatistik ist die Nutzung am Ort der Stichprobe (Punkt) ausschlaggebend, im Gegensatz zum LFI, dessen Luftbilddauswertung auf einer Flächenanalyse von jeweils 50x50 m basiert. Der Stichprobenfehler ist wegen der engeren Maschenweite kleiner als beim LFI.

Im landwirtschaftlichen Bereich macht die fehlende Differenzierung zwischen Acker- und Grünlandflächen eine Abschätzung des Kohlenstoffvorrats problematisch.

3.2.3 FORSTSTATISTIK

Im Jahrbuch "Wald und Holz" (Anonymous, 2000) wird jedes Jahr eine Fülle von Daten zur Forstwirtschaft zusammengestellt. Für unsere Betrachtungen interessant sind die Waldflächen, die durch die Gemeinden erhoben werden. Weiter werden die Flächen der bewilligten Rodungen zusammen mit dem Rodungsgrund ausgewiesen. Hingegen ist das bei der Rodung geschlagene Holzvolumen nicht aufgeführt. Die Zeitangabe entspricht der Rodungsbewilligung und nicht der Ausführung. Ferner werden Pflanzungen und Aufforstungen als Anzahl Pflanzen, aber ohne Flächenangabe festgehalten. Für die Abschätzung der Senkenleistung schliesslich von Interesse ist das Zahlenmaterial zur Holznutzung.

3.2.4 BODENDATEN

Im Rahmen der Waldschadeninventur wurde auf dem LFI-Raster (8 x 8 km) der Boden an 172 Standorten untersucht (Lüscher *et al.*, 1994). Die bodenkundlichen Erhebungen umfassen Profilsprache und Probenahme nach Horizonten. Unter anderem wurde der organische Kohlenstoffgehalt bestimmt.

Die Bodeneignungskarte (Anonymous, 1980) zeigt im Massstab 1:200'000 die bodenkundlich ausgeschiedenen Einheiten und ihre land- und forstwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten. Mit Hilfe der Legende und weiterer Bodenkarten im Massstab 1:50'000 ist der organische Kohlenstoffgehalt ableitbar (Paulsen, 1995).

Die Datensätze zu den landwirtschaftlichen Böden sind im Detail in Leifeld et al. (2002) beschrieben. Die wichtigsten Quellen sind dabei neben Einzelpublikationen die Bodeneignungskarte, die nicht flächendeckenden Bodenkarten, die Areal- und Gemeindestatistiken, Daten kantonaler Bodenbeobachtungen sowie das Moorinventar.

3.3 Mögliche Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.3

3.3.1 AUSWERTUNG DES LANDESFORSTINVENTARS

Unter Art. 3.3 des KPs fallen die Aktivitäten Rodung (Entwaldung), Aufforstung und Wiederaufforstung (siehe Kap. 1.4). Zum ersten Mal wurden forstliche Daten im Jahre 2000 zuhanden des UNFCCC⁵⁰ Verhandlungsprozesses ausgewertet und anrechenbare Senkenbeträge abgeschätzt. Die Zusammenstellung wird als "November Submission"⁵¹ bezeichnet. Mittels der aus dem Vergleich zwischen LFI1 und LFI2 ermittelten neu eingewachsenen Waldfläche wurde die nach Art. 3.3 anrechenbare Senkenleistung des Schweizer Waldes unter Annahme verschiedener Szenarien berechnet. Wir benutzen diese Auswertung, um folgende Probleme, die sich bei der Auswertung des LFIs im Rahmen des KPs ergeben, aufzuzeigen:

- Transitionen unproduktiver/produktiver Wald
- Waldrandstichproben

3.3.1.1 Transitionen unproduktiver/produktiver Wald

Bei der November-Submission wurde zwischen Nichtwald, unproduktivem⁵² und produktivem Wald unterschieden. Die Zunahme und Abnahme an produktivem und unproduktivem Wald folgt aus den beiden Landesforstinventaren LFI 1 (1985) und LFI 2 (1995). Bei dieser Berechnungsart ergibt sich aber das Problem, dass Transitionen unproduktiver/produktiver Wald ebenfalls mitgezählt werden. Dies entspricht aber nicht exakt der Zunahme an neuem Wald gemäss Art. 3.3 des KPs. Unproduktiver Wald beispielsweise, der zu produktivem Wald wird, bedeutet gleichzeitig eine Abnahme an unproduktivem Wald und eine Zunahme an produktivem Wald. Ein solcher Übergang wird besser unter Art. 3.4 des KPs abgehandelt, da es sich nach wie vor um Wald handelt, also keine Landnutzungsänderung stattgefunden hat, die dem Art. 3.3 unterstehen würde.

Allgemein ergibt der Vergleich zwischen LFI 1 und LFI 2 neun Transitionen zwischen den drei Zuständen Nichtwald, unproduktivem und produktivem Wald (Tabelle 3). Von diesen neun Übergängen entsprechen fünf den Anforderungen von Art. 3.4. Nur in vier Fällen kommt dann Art. 3.3 zum Zug, nämlich bei den Übergängen zwischen Nichtwald und produktivem oder unproduktivem Wald.

⁵⁰ <http://unfccc.int/>

⁵¹ FCCC/SBSTA/2000/MISC.11

⁵² Unzugänglicher Wald, Gebüschwald oder dauernd nicht bestockte Waldfläche gemäss LFI-Merkmal TYP30517.

Tabelle 3: Transitionsmatrix, die für die Übergänge der Zustände Nichtwald, unproduktiver und produktiver Wald zwischen LFI 1 und LFI 2 die relevanten Artikel des KPs angibt. Kursiv stehen Transitionen, die in der November-Submission unter Art. 3.3 und hier korrigiert neu unter Art. 3.4 zugerechnet werden.

	Nichtwald LFI 2	unprod. Wald LFI 2	prod. Wald LFI 2
Nichtwald LFI 1	Art. 3.4 ⁵³	Art. 3.3	Art. 3.3
unprod. Wald LFI 1	Art. 3.3	Art. 3.4	<i>Art. 3.4</i>
prod. Wald LFI 1	Art. 3.3	<i>Art. 3.4</i>	Art. 3.4

Nur die Zählung der vier Übergänge zwischen Nichtwald und Wald, ob produktiv oder nicht, ist gemäss Art. 3.3 entscheidend. Für die forstlichen Belange hingegen sind auch die Übergänge zwischen produktivem und unproduktivem Wald wichtig. Daher werden sie im LFI auch unterschieden. Zudem muss für eine korrekte Berechnungsweise die Zunahme und die Abnahme der Waldfläche klar ausgeschieden werden, was im folgenden auch besprochen wird.

3.3.1.2 Waldrandstichproben

Die Stichproben, die möglicherweise unter Art. 3.3 fallen könnten, weisen manchmal Vorräte von über 100 m³ und Bestandesalter weit über 10 Jahre auf. Ein grosser Teil dieser problematischen Flächen liegt in der Nähe des Waldrandes. Die daraus abgeleitete Senkenleistung gemäss Art. 3.3 fällt demnach unrealistisch hoch aus.

In der Nähe des Waldrandes ergibt sich das Problem, dass ein einzelner Baum am Waldrand oder einzelne neu aufgekommene Bäume ausserhalb des ehemaligen Waldrandes den Ausschlag geben, ob die Stichprobe als Wald taxiert wird oder nicht. Der Entscheid Wald/Nichtwald hängt also von einem Bruchteil des vorhandenen, nämlich nur vom neu dazugekommenen Holzvolumen ab. Bei einwachsenden Flächen oder Aufforstungen in der Nähe des Waldrandes hängt der Entscheid Wald/Nichtwald also von der Waldrandverschiebung durch junge Bäume ab, wodurch u. U. auch alte Bäume dazugezählt werden, die nach KP kaum als Aufforstung und Wiederaufforstung gelten können (vgl. Abbildung 3).

3.3.1.3 Korrektur der Anzahl LFI-Stichproben

Um abzuschätzen, wie sich Übergänge zwischen unproduktivem und produktivem Wald und Waldrandentscheide auf die Kohlenstoffmenge auswirken – beides Vorgänge, die als Transitionen unter Art. 3.3 fallen könnten – haben wir die in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellte Auswertung des Landesforstinventars vorgenommen.

- Von den Flächen, die für die November-Submission⁵⁴ verwendet wurden (Zeile 1), werden die Transitionen unproduktiver/produktiver Wald (UP/P) abgezählt (Zeile 2). Die bei diesem Schritt erfassten Flächen sind besser unter Art. 3.4 zu berücksichtigen.
- Bei den verbleibenden potentiell zugewachsenen Flächen wurden in einem nächsten Schritt diejenigen ausgeschieden, bei denen sich der Waldrand auf der Probefläche befindet (LFI-Merkmal WARA=1; Zeile 3 und 5) und/oder der Waldtyp nicht als Jungwuchs oder Stangenholz bestimmt wurde (LFI-Merkmal TYP30517=12,13; Zeile 4 und 5).

⁵³ Falls es sich um Landwirtschaftsland handelt, werden diese Aktivitäten auch unter Art. 3.4 verrechnet.

⁵⁴ FCCC/SBSTA/2000/MISC.11

- Von den abgegangenen Flächen, die für die November-Submission verwendet wurden (Zeile 6), werden die Transitionen UP/P abgezählt (Zeile 7). Bei den verbleibenden potentiell abgegangenen Flächen zählten wir jene ab, die im LFI 2 als Gebüschwald oder aufgrund des Waldrandentscheides als Nichtwald bestimmt wurden (WNWENT=2-6; Zeile 8).

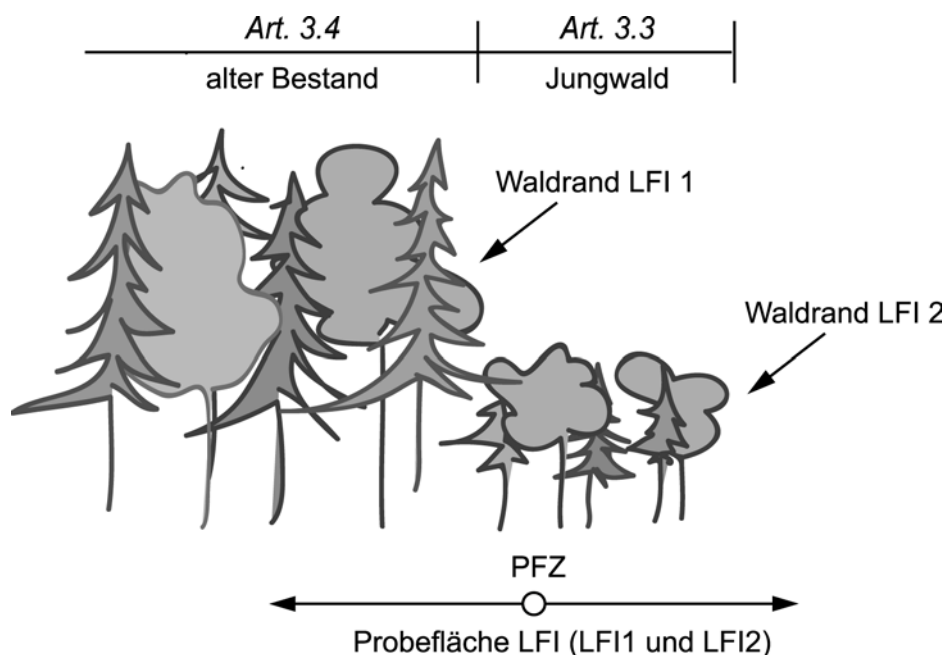


Abbildung 3: Skizze zur Veranschaulichung der problematischen Trennung zwischen Artikel 3.3 und 3.4 bei der Erfassung des Einwuchses am Waldrand. Auf der dargestellten Probefläche wurde beim LFI1 im Gegensatz zum LFI2 kein Wald festgestellt (PFZ: Probeflächenzentrum).

Die Anwendung der verschiedenen Kriterien (UP/P-Transitionen, Waldrand) führt zu einer deutlichen Abnahme sowohl der neu zugewachsenen Flächen (Tabelle 4) als auch dem Kohlenstoffgehalt (Tabelle 5). Die Gegenüberstellung der Volumen aller allenfalls unter Art. 3.3 anrechenbaren Flächen und Kohlenstoffmengen sowie der nach Waldtyp und Waldrand gefilterten Daten in Abbildung 4 zeigt, dass durch dieses Verfahren die unrealistisch grossen Volumen verschwinden. Sie zeigt aber auch, dass viele kleine Volumina verloren gehen, die bei neu eingewachsenen Standorten zu erwarten wären. Dies könnte bedeuten, dass die Werte nach Anwendung aller Filter zu klein sind.

Welche der in Tabelle 4 zusammengefassten Flächen als neu zugewachsen und damit unter Art. 3.3 anrechenbar sind, lässt sich nicht eindeutig entscheiden. Die Lösung könnte zwischen Zeile 2 und Zeile 5 liegen. Die Mengen könnten aber auch noch kleiner ausfallen. Zwischen dem KP-Basisjahr 1990 und den Aufnahmen zum LFI2 liegen nur 3 bis 5 Jahre. In dieser kurzen Zeit können sich einwachsende Flächen nicht zu Stangenhölzern (10 der 33 verbleibenden Flächen) und nicht einmal zu Dickungen entwickeln. Die massgebende Kohlenstoffmenge könnte daher noch kleiner als der kleinste ausgewiesene Wert sein. Andererseits lässt sich die genaue Anzahl vor allem wegen der beschriebenen Waldrandproblematik nicht ermitteln. Dort, wo einwachsende Bäume dazu führen, dass das Probezentrum als zum Wald gehörend taxiert wird, könnten sicher die neuen Bäume unter Art. 3.3 fallen, sofern sie die entsprechenden Bedingungen erfüllen (u. a. Grösse der Fläche). Je nach Ausgestaltung der Good Practice Guidance, die zur Zeit erarbeitet wird, könnten sogar die alten Bäume unter Art. 3.3 fallen.

Tabelle 4: Anzahl Stichproben und Flächen der Waldveränderungen zwischen LFI 1 und LFI 2, die unter Art. 3.3 verrechnet werden können. (P: produktiver Wald, UP: unproduktiver Wald, übrige Abkürzungen siehe Text).

		Anzahl Stichproben		Fläche [kha]	
		P	UP	P	UP
	Zunahme				
1	Alle ⁵⁵	313	172	63	34
2	ohne Transitionen UP/P	175	112	35	22
3	ohne Waldrand (WARA≠1)	119	97	24	19
	Arealstatistik			17	
4	Nur TYP30517= 12, 13	56	0	11	0
5	Nur TYP30517=12,13, WARA≠1	33	0	7	0
	Abnahme				
6	Alle	84	206	17	41
7	ohne Transitionen UP/P	24	68	5	14
	Arealstatistik			5	
8	ohne WNWENT=2-6	2	53	0.4	11

Tabelle 5: Holz- und Kohlenstoffflüsse, die unter Art. 3.3 fallen könnten. Grundlage: Tabelle 4 (P: produktiver Wald, UP: unproduktiver Wald, übrige Abkürzungen siehe Text).

		Vorrat [1000 m ³ /a]		Masse [kt/a]			
		Nadelholz	Laubholz	Nadelh. ⁵⁶	Laubh. ⁵⁶	Holz	C ⁵⁷
	Zunahme						
1	Alle Stichproben	484	180	270	145	415	208
2	ohne Transitionen UP/P	450	146	251	118	369	184
3	ohne Waldrand (WARA≠1)	229	19	128	16	143	72
4	Nur TYP30517= 12, 13	44	22	25	18	42	21
5	Nur TYP30517=12,13, WARA≠1	19	5	11	4	15	8
	Abnahme						
6	Alle Stichproben	-59	-16	-33	-13	-45	-23 ⁵⁸
7	ohne Transitionen UP/P	93	50	52	40	92	46
8	ohne WNWENT=2-6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3

⁵⁵ Die Differenz zwischen der Zu- und Abnahme der Fläche des produktiven Waldes entspricht der in der November-Submission verwendeten Aufforstungsfläche.

⁵⁶ Für Nadel- und Laubholz wurde mit einer Dichte von 0.384 und 0.556 t/m³ sowie einem Expansionsfaktor von 1.45 gerechnet.

⁵⁷ Die C-Gehalte können durch Multiplikation mit dem Faktor 3.67 in t CO₂ umgerechnet werden.

⁵⁸ Negative Werte (Zunahme des Vorrats), können durch Transitionen zwischen unproduktivem und produktivem Wald erklärt werden, die mit keiner Abnahme der Waldfläche verbunden sind.

Analog dazu könnte sich der Wert der tatsächlich verschwundenen Waldflächen zwischen Zeile 7 und Zeile 8 befinden. Als untere Grenze lässt sich die Fläche der in diesem Zeitraum bewilligten Rodungen mit 1.15 kha angeben.

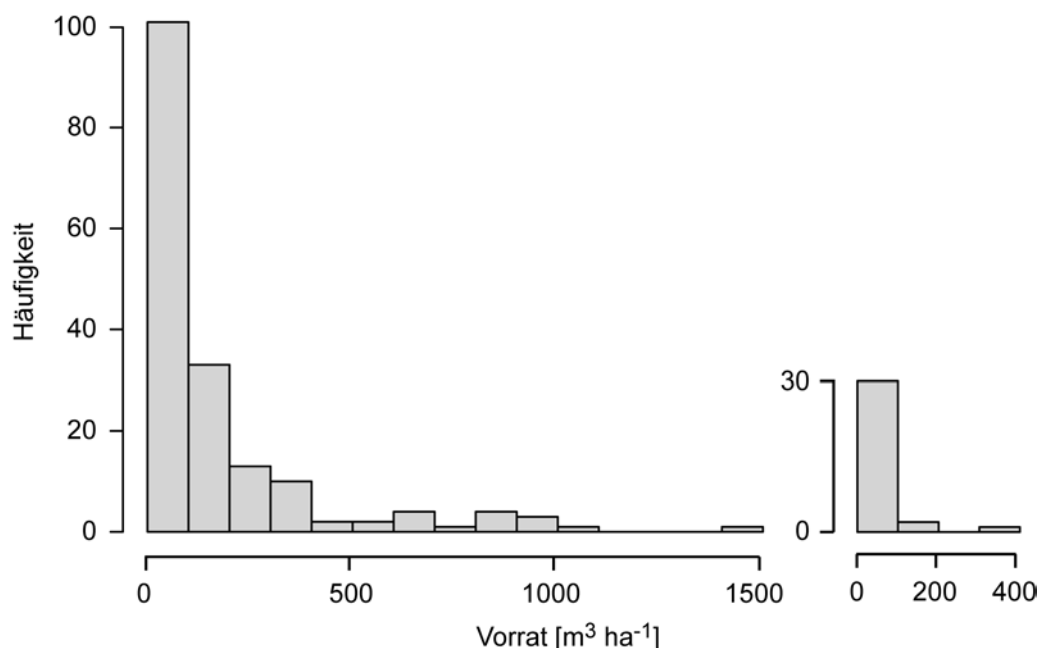


Abbildung 4: Holzvorrat auf neu zugewachsenen produktiven Waldflächen nach den in Tabelle 4 zusammengefassten Auswertungen. Das linke Histogramm entspricht Zeile 3 in Tabelle 5, das rechte Zeile 5

Die oben erläuterte Schätzung der Kohlenstoffmengen auf den neuen LFI-Waldflächen, die nach KP Art. 3.3 maximal angerechnet werden könnten, ergibt sich also dadurch, dass nur Flächen ausgewählt werden, die aufgrund bestimmter Parameter u. U. die Kriterien nach KP Art. 3.3 erfüllen würden. Es sind auch andere Verfahren vorstellbar. Z. B. könnte angenommen werden, dass bei allen neuen Waldflächen nach Abzug der UP/P-Transitionen (Zeile 2, Tabelle 4) die eine Hälfte 1990 bereits stand und die andere Hälfte seit 1990 eingewachsen ist. Auf den seit 1990 eingewachsenen Flächen könnte dann ein geschätzter Vorrat angenommen werden. Da zwischen 1990 und der LFI2-Aufnahme 1993 – 1995 nur 3 bis 5 Jahre liegen, wäre dieser Vorrat sehr klein, wenn nicht gar 0. Bei $4 \text{ m}^3/\text{ha}$ – wohl ein zu grosser Wert – ergäbe sich nach KP Art. 3.3 ein gesamter Kohlenstoffvorrat von 5 – 20 kt C und eine jährliche Zunahme von 1 – 4 kt C/ha⁵⁹. Dieser Wert ist kleiner als der kleinste in Tabelle 5 aufgeführte Wert.

Aufforstungen (Reforestation R und Afforestation A nach KP) und einwachsende Flächen (unter Umständen A und R) werden mit dem Waldrandentscheid des LFIs nicht zweifelsfrei erfasst.

⁵⁹ $1100 \text{ bis } 4300 \text{ ha/a} * 4 \text{ a} * 4 \text{ m}^3/\text{ha} * 0.46 \text{ t/m}^3 * 0.5 \text{ tC/t}$

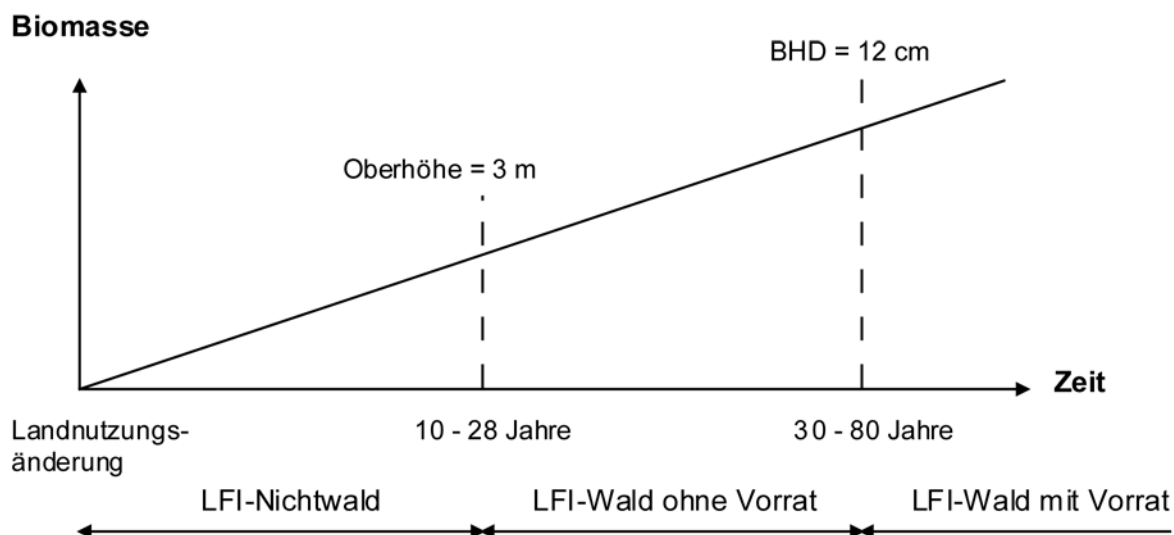


Abbildung 5: Zeitliche Verzögerung der Erfassung von einwachsenden Flächen.

Zu den bereits erwähnten Problemen bei der Verwendung der LFI-Daten zur Abschätzung der Senkenleistung der neu eingewachsenen Waldflächen kommen noch zwei weitere hinzu. Erstens werden die einwachsenden Flächen erst Jahre, wenn nicht Jahrzehnte nach dem Beginn des Einwachsens quantitativ erfasst. Dann nämlich, wenn eine genügend grosse Zahl von Bäumen einen Brusthöhendurchmesser von mehr als 12 cm aufweist oder die Höhe von 3 m überschritten hat (Abbildung 5). Dann aber wird auch der Zuwachs der Wurzeln erfasst. Die Senkenleistung dieser Flächen wird deshalb mit starker Verzögerung angerechnet, der Einfluss auf die Bilanz ist aber vermutlich gering.

Nicht erfasst wird zweitens der Gebüschwald, der unter dem KP anrechenbar wäre, den das LFI aber nie als Normalwald taxieren wird. Die Senkenleistung der Gebüschwälder ist vermutlich gering. Sie entstanden an vielen Orten infolge Übernutzung und könnten unter Umständen wieder in Normalwald mit entsprechender Senkenleistung umgewandelt werden.

Schliesslich gilt es zu beachten, dass im LFI jegliche Waldflächenzunahmen erfasst worden sind. Insbesondere auch Fälle, bei denen ohne jegliches menschliches Zutun die Veränderung zustande gekommen ist. Laut KP wären aber Fälle, bei denen keine direkte menschliche Einwirkung stattgefunden hat, auszuschliessen. Im LFI fehlen jegliche Angaben, die eine solche Unterscheidung ermöglichen würden.

3.3.2 AUSWERTUNG DER AREALSTATISTIK ZUR BEURTEILUNG DER WALDFLÄCHENÄNDERUNG

Die Zunahme der Waldfläche (produktive und unproduktive nach LFI ohne Gebüschwald) gemäss Arealstatistik beträgt 17 kha in 10 Jahren, diejenige des Gebüschwaldes 1 kha, der Verlust an Wald 5 kha und an Gebüschwald 0.3 kha. Die Zu- wie die Abnahme liegen also am unteren Ende der LFI-Werte (Tabelle 4). Auffällig ist, dass die Waldfläche gemäss Forststatistik und Arealstatistik in ähnlichem Rahmen zugenommen hat, nach LFI indes ist die Zunahme einiges stärker (Abbildung 6). Wir vermuten, dass die Angaben zur Waldflächenänderung bei der Arealstatistik genauer sind, als beim LFI, da die Auflösung wesentlich grösser ist (100 x 100 m), für beide Inventare die gleichen Definitionen verwendet wurden und alle Stichproben bei beiden Inventaren zweimal unabhängig voneinander beurteilt wurden.

Aber auch hier ist zu vermuten, dass Übergänge zwischen Nichtwald und Wald und vice versa von Wald zu Nichtwald vorkommen, die nicht unter Art. 3.3 fallen. Ist ein Waldrand vorhanden, bleibt der Entscheid problematisch, wenn sich das Stichprobenzentrum nicht exakt am gleichen Ort befindet und wenige neue Bäume über den Einschluss alter Bäume entscheiden. Leider gibt die Arealstatistik keine Information zum Holzvorrat.

3.3.3 EINBEZUG VON ERTRAGSTAFELN

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf den neu eingewachsenen Flächen die potentielle Senkenleistung mit Ertragstafeln (Anonymous, 1983) abzuschätzen. Dazu muss jedoch die Fläche und auch das Pflanzjahr oder der Beginn des Einwachsens bekannt sein. Zu den Aufforstungen gibt es einzig die Werte der jährlich in Aufforstungen gepflanzten Bäume, die Fläche wird indes nicht erfasst. Für die eingewachsenen Flächen ist kein Startjahr verfügbar (vgl. Kommentar zu LFI-Daten). Weiter erfassen die Ertragstafeln den Holzvorrat erst ab einer bestimmten Schwelle (Durchmesser oder Höhe). In den ersten Jahren, wenn nicht Jahrzehnten sind sie für die Abschätzung der Senkenleistung unbrauchbar. Unseres Wissens gibt es für die Schweiz keine entsprechenden Studien, wohl aber international (Baritz & Strich, 2000; Watson *et al.*, 2000). Abschätzungen gemäss dieses Ansatzes lagen ausserhalb des zeitlichen Rahmens dieses Projektes.

3.3.4 BEURTEILUNG DER DATENGRUNDLAGE

Sowohl Arealstatistik wie auch LFI beruhen auf Stichproben. Ein Stichprobennetz ist zur Schätzung von Flächen und Vorräten zweifellos geeignet. Problematisch hingegen wird diese Methode bei der Schätzung kleinster Veränderungen. Die Abstände zwischen den Stichprobenzentren sind um ein Mehrfaches grösser als die Distanzen zwischen alten und neuen Waldrändern oder die Ausdehnung einwachsender Flächen. Zudem weisen am Waldrand einwachsende Waldflächen ein grosses Verhältnis von Länge zu Breite auf. Sie sind deshalb schwer zu erfassen. Dies gilt für das LFI wie auch für das engmaschigere Netz der Arealstatistik.

Weiter fällt auf, dass sich Waldfläche und Waldflächenzunahme zwischen Forststatistik, Arealstatistik und LFI unterscheiden (Abbildung 6). Die starke Waldflächenzunahme nach LFI wirkt sich entsprechend deutlich auf die mögliche Anrechnung nach Art. 3.3 KP aus. Bei LFI1 und LFI2 wurde jeweils zuerst im Luftbild entschieden, ob es sich um Wald handelt oder nicht. Ein negativer Waldentscheid wurde im Gelände nicht überprüft, war also endgültig, ein positiver Entscheid wurde hingegen im Gelände notfalls korrigiert. Die starke Waldflächenzunahme könnte also auf einer unterschiedlichen Interpretation der Luftbilder beruhen, da im LFI1 häufiger der Entscheid "Nichtwald" fiel für Flächen, die – wären sie damals schon als Wald beurteilt worden – im Gelände teilweise als Wald bestätigt worden wären.

Die Unterscheidung zwischen 1990 als Wald genutztem und auf andere Weise genutztem Land fehlt. Mögliche Grössen sind aus dem LFI höchstens ansatzweise ableitbar.

Die Identifizierung von Waldflächen gemäss Art. 3.3 ist folglich mittels LFI oder Arealstatistik nicht befriedigend möglich.

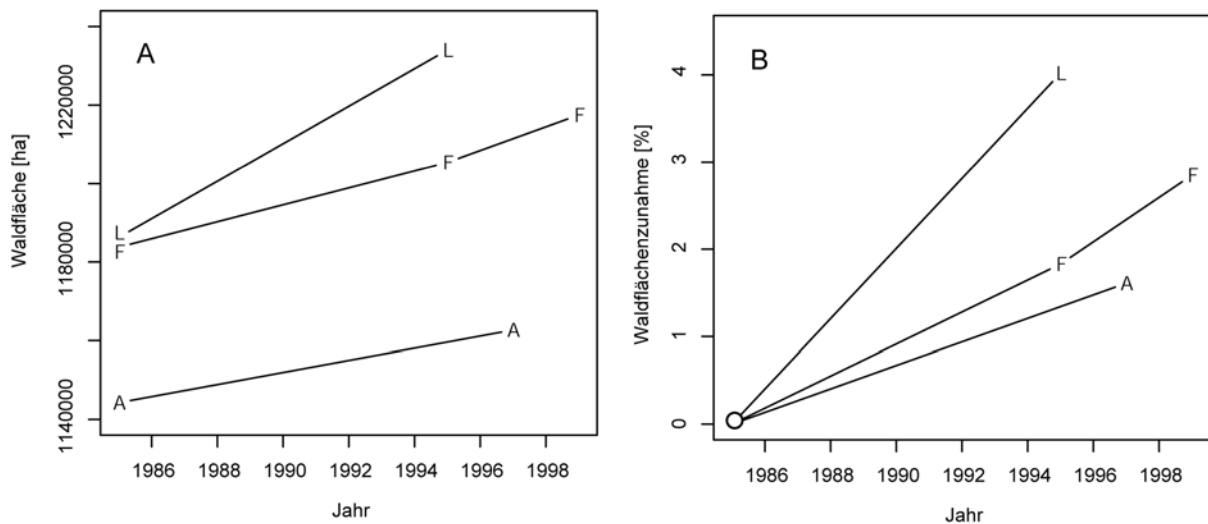


Abbildung 6: Absolute (A) und relative (B) Waldflächenzunahme gemäss Arealstatistik (A), Forststatistik (F) und LFI (L).

Um in Zukunft die Veränderungen nach Art. 3.3 zu erfassen, sollten folgende Massnahmen an die Hand genommen werden:

- In der Forststatistik werden bereits die Anzahl gepflanzter Bäume aufgeführt. Was jedoch fehlt, ist eine **zentrale Erfassung der Aufforstungen** (Fläche, Jahr, Höhe ü. M., Baumarten). Bei Aufforstungen ist der Zeitpunkt der Nutzungsänderung eindeutig. Es braucht keine Annahmen oder allenfalls (Gerichts-)Entscheide.
- In der Forststatistik werden bereits die bewilligten Rodungen erfasst. Es fehlt aber eine **Statistik der Rodungen mit Datum der Ausführung und der genutzten Vorräte**.
- LFI und Ertragstafeln erfassen den Holzvorrat erst nach Jahren, wenn nicht nach Jahrzehnten. Die **Holzzunahme bis zur Erreichung der Kluppierschwelle** (kleinster erfasster Stammdurchmesser) sollte abgeschätzt werden.
- Auf den alten wie den neu entstandenen Gebüschwaldflächen sollte der Holzvorrat erfasst werden. Es gibt keine Angaben zu den Kohlenstoffvorräten, die kleiner als im Wald, aber vermutlich grösser als in der Landwirtschaft sind. Der Einfluss des Menschen ist meistens gering (Frage nach human-induced). Hingegen können die Gebüschwaldflächen natürlicherweise oder durch entsprechende Pflege, z. B. Wildschadenverhütung, in Wald überführt werden. Im letzteren Fall sind derartige Massnahmen in die Statistik aufzunehmen, damit Überhaupt entschieden werden kann, ob es sich um ein Aufforstung oder eine Wiederaufforstung im Sinne des KPs handelt oder ob wir es bloss mit einem natürlichen Einwachsen infolge Vergandung zu tun haben.
- Die Gründe für die unterschiedlichen Werte der Areal- und Forststatik und des LFI sollten untersucht werden. Alle im LFI 1 und 2 erfassten Stichproben sind auch in der Arealstatistik beurteilt worden, wenn auch nicht im gleichen Jahr. Damit bestünde die Möglichkeit eines punktwisen Vergleichs, der bis heute auch nicht versuchsweise durchgeführt wurde.
- Sinnvoll wäre auch die Wiederinterpretation von LFI1-Luftbildern an den Orten, wo im LFI2 neu auf Wald entschieden wurde. Diese Arbeit sollte von zwei unabhängigen Personen durchgeführt werden. Die Unterschiede sollten dabei erst nachträglich bereinigt werden.

- Im LFI3 sollte die Interpretation aller Luftbilder von zwei unabhängigen Personen durchgeführt werden, allfällige Unterschiede müssen nachträglich unter Leitung einer Drittperson bereinigt werden. Vor Beginn der Arbeit wäre die Formulierung der Qualitätskontrolle u. U. in Anlehnung an die Landestopographie angezeigt.

3.4 Mögliche Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.4

Die Flächen, die nach der im obigen Kapitel gemachten Auswertung unter Art. 3.3 fallen, werden von der gesamten Waldfläche im LFI2 abgezogen. Für die verbleibende Fläche muss entschieden werden, ob die Zu- oder Abnahme des Vorrats auf eine menschliche Aktivität (siehe 1.6) zurückzuführen ist (human-induced) und ob diese Aktivität seit 1990 stattgefunden hat. Für die vorliegende Auswertung wurden diejenigen Flächen untersucht, die sowohl beim LFI1 als auch beim LFI2 als zugänglicher Wald klassiert wurden (LFI-Merkmal GEMNETZ). Der unzugängliche Wald und der Gebüschwald sind in der folgenden Auswertung nicht enthalten.

Hier ergibt sich wiederum die Schwierigkeit, dass das LFI nicht für diese Art von Auswertung entworfen worden ist. Aus diesem Grund sind im Folgenden verschiedene Definitionen und ihre Auswirkungen auf die Grösse der Fläche, für die der Mensch die direkte Verantwortung trägt, beschrieben. Weitere Faktoren, die den anzurechnenden Teil beeinflussen, sind die Nachhaltigkeit der Senkenwirkung (z. B. Anfälligkeit auf Windwurf) und die in Zukunft zu erwartende Senkenleistung (Potential der Vorraterhöhung).

- Die Existenz eines Wirtschaftsplans **könnte** als Kriterium für "human-induced" gelten. Als nach KP anrechenbar zählen hier Flächen, für die ein Wirtschaftsplan existiert (PLAN=1), ein Waldbauprojekt vorhanden ist (PLAN=2) oder ein Reservat an einer zugänglichen Stelle eingerichtet wurde (PLAN=4; TYP30517≠1). Wirtschaftswald ohne Plan (PLAN=3), worunter mehrheitlich der private Wald fällt, könnte durch Erstellen eines Wirtschaftsplans anrechenbar gemacht werden.
- Wie häufig etwas gemacht wird (NUJRLFI2 < 5, 10, 18, 20, 22 Jahre) und evtl. die Art des letzten Eingriffs (NUART), diene uns als Kriterium für "human-induced". Die Häufigkeit der durchgeführten Eingriffe kann mit dem Zeitpunkt der letzten Nutzung aus dem LFI abgeschätzt werden (LETZTENU resp. NUJRLFI2). Werte über 100 bedeuten, dass auf der Waldfläche mindestens 99 Jahre lang vor dem LFI 1 nichts gemacht wurde. Falls diese Information nicht erhältlich war, wurde das Merkmal nicht bestimmt und erhielt den Wert -99 (in 12 von 5425 Fällen).
- Die Vorraterhöhung kann die Nachhaltigkeit (Anfälligkeit auf Windwurf) beeinträchtigen oder zu Zielkonflikten (Überalterung des Schutzwaldes) führen. Je jünger ein Bestand ist, desto länger wird auch seine Senkenwirkung noch anhalten. Eine grobe Abschätzung dieser Gefahren kann das LFI-Merkmal BESTALT (Alter des massgebenden Bestandes in Jahren) liefern. Wegen der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten auf verschiedenen Höhenstufen sind vergleichbare Bestände im Mittelland viel jünger als im Gebirgswald.

In Tabelle 6 sind die jährlich im Wald gebundenen Kohlenstoffmengen dargestellt, die nach den einschränkenden Bedingungen Wirtschaftswald, Bestandesalter und letzte Nutzung (human induced) anrechenbar sind. Im Anhang in Tabelle 17 sind die anrechenbaren Anteile in Flächenprozenten angegeben. Die dort angegebenen Kohlenstoffmengen wurden mit Werten aus (Brassel & Brändli, 1999) berechnet, welche Mittelwerte einer ganzen Produktionsregion aufzuführen. Die Kohlenstoffmengen in Tabelle 6 basieren dagegen auf Werten einzelner Stichproben der LFI-Datenbank.

Tabelle 6: Nach verschiedenen Definitionen unter Art. 3.4 möglicherweise anrechenbare Kohlenstoffflüsse in kt/a nach Daten von LFI 1 und LFI 2 (siehe Text) aufgeteilt nach Produktionsregionen. Die Bezeichnungen PLAN, BESTALT und NUJRLFI2 entsprechen den LFI-Bezeichnungen.

	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Alpensüdseite	Schweiz
Total	194	176	232	256	113	973
PLAN=1,2,3 ⁶⁰	193	177	232	263	115	983
BESTALT≤80, PLAN=1,2,3	86	60	96	106	74	418
BESTALT≤100, PLAN=1,2,3	132	124	144	144	82	625
BESTALT≤120, PLAN=1,2,3	155	146	179	177	86	741
NUJRLFI2<5; ≠-99	-15	-45	-30	-72	-9	-173
NUJRLFI2<10; ≠-99	-17	-52	-53	-87	-15	-229
NUJRLFI2<18; ≠-99	91	91	82	-8	-3	250
NUJRLFI2<20; ≠-99	103	100	98	6	-1	301
NUJRLFI2<22; ≠-99	123	116	121	33	3	394

Sofern Tätigkeiten im privaten Wald mit einem einfachen Wirtschaftsplan festgelegt werden, könnten 99 % des zugänglichen Waldes als Wirtschaftswald gelten (Kriterium: PLAN=1,2,3). Diese Einschränkung bewirkt daher nur eine marginale Reduktion der Kohlenstoffflüsse. Es ist indes zu beachten, dass immer mehr Wald aus wirtschaftlichen und auch ökologischen Gründen nicht mehr bewirtschaftet wird. Der anrechenbare Anteil Wald, der sich aufgrund dieser Überlegung ergibt, nimmt also stetig ab.

Bei Einbezug des Bestandesalters (Kriterium: BESTALT≤80 bis ≤120) beträgt der Anteil für Werte von höchstens 80, 100, 120 Jahren 51%, 64%, resp. 76%. Im einschränkendsten Fall von 80 Jahren liegt der anrechenbare Wert leicht unter der maximalen Menge (Cap).

Wendet man die Einschränkung an, dass zwischen 1990 und 2008/2012 mindestens ein Eingriff erfolgt sein soll (Kriterium: NUJRLFI2<18 bis <22), lässt sich zwar eine Senkenleistung von 60 bis 66% des Waldes anrechnen. Da aber die Vorratsänderung in diesem Teil des Waldes, wie Abbildung 7 zeigt, häufig negativ ist, liegt auch hier die Senkenleistung deutlich unter der Cap. Die Eckwerte der Jahre nach KP, also 1990 und 2008/12, ergeben 18/22 Jahre. Dieser Zeitraum ist meistens kürzer als die Dauer zwischen zwei waldbaulichen Eingriffen in Gebirgswäldern. Aber auch in den Voralpen und selbst im Mittelland erfolgen je nach Entwicklungsstufe Eingriffe seltener.

⁶⁰ PLAN-Code: 1) Wirtschaftsplan WP vorhanden, Bewirtschaftung vorgesehen, 2) Waldbauprojekt vorhanden, 3) Wirtschaftswald ohne Planung, 4) Übrige (Nichtwirtschaftswald, Reservat), keine Bewirtschaftung vorgesehen

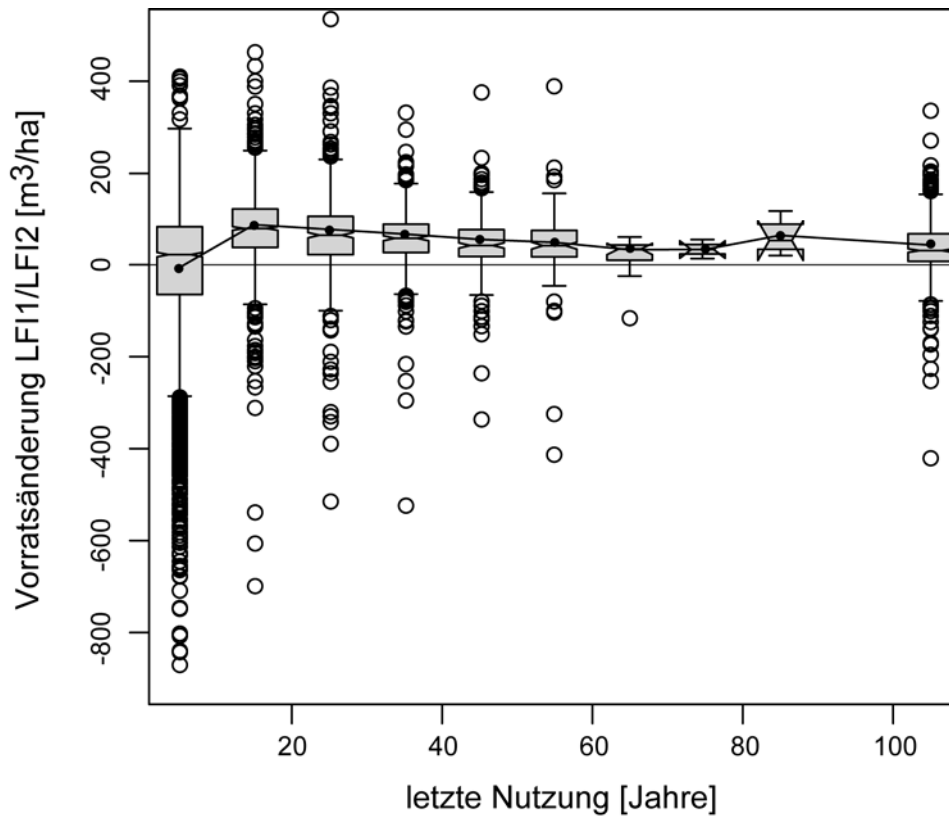


Abbildung 7: Die Holzvorratsdifferenz (LFI2-LFI1) als Funktion der Zeit bis zum letzten Eingriff (NUJRLFI2) in Jahren vor LFI2, dargestellt als Boxplots zusammen mit den Mittelwerten. Die ha-Werte sind aus den LFI-Stichproben von 200 bzw. 500 m² abgeleitet und streuen entsprechend stark.

Der Grossteil dieser Vorratsänderung ist auf die normale Nutzung zurückzuführen. Die vom Sturm Vivian 1990 geworfene Menge entspricht mit 4.9 Mio. m³ ungefähr einer Jahresnutzung (Holenstein, 1994) und wirkt sich auf die negativen Vorratsänderungen zwischen den beiden LFI nur zu einem kleinen Teil aus.

In Abbildung 8 sind die anrechenbaren Mengen Kohlenstoff dargestellt, die jährlich im bestehenden Wald gebunden werden. Als Vergleichsgrösse ist die Cap von 0.5 Mt C a⁻¹ eingezeichnet, die Menge also, die sich die Schweiz jährlich höchstens anrechnen lassen darf.

Die in Tabelle 6 aufgeführten totalen Kohlenstoffflüsse wurden mit Hilfe der Vorratsdifferenzen zwischen LFI 1 und 2 berechnet. Dazu muss die Zunahme der Kohlenstoffmenge zwischen den beiden LFI auf den Stichproben addiert werden, die im Kap. 3.3.1.3 ausgesondert wurden, weil sie nicht unter Art. 3.3 des KPs fallen. Wird auf diesen Flächen ein Vorrat von 4 m³/ha angenommen, beträgt der zusätzlich anrechenbare C-Fluss 5 – 20 kt/a⁵⁹.

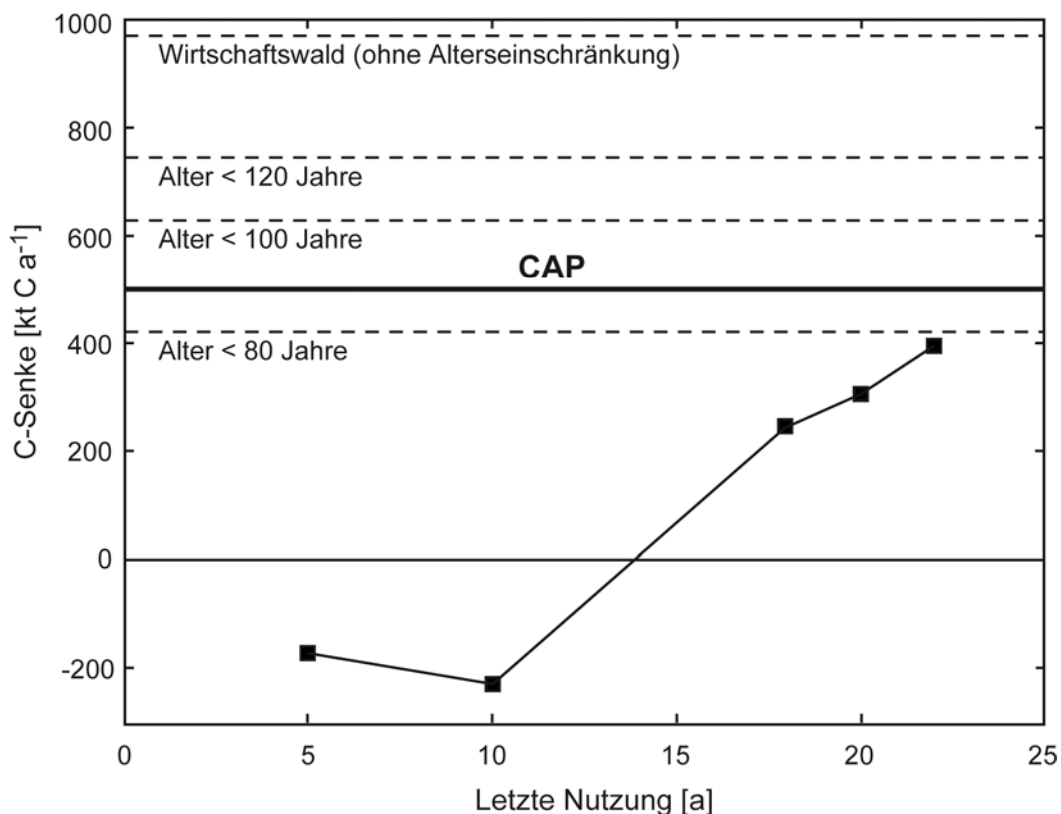


Abbildung 8: Beziehung der möglicherweise unter Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls anrechenbaren, mittels LFI-Daten berechneten C-Senkenleistung (Tabelle 6) zur maximal anrechenbaren Menge Cap (Schweiz 0.5 Mt C a^{-1}).

3.5 Kohlenstoffvorrat im Waldboden

Aufgrund der Daten der Waldschadeninventur wurde von Perruchoud et al. (2000) der Kohlenstoffvorrat im Waldboden berechnet. Er beträgt 98 t/ha , was rund 10 kg/m^2 entspricht. Extrapoliert auf die (zugänglichen) Waldflächen der Schweiz (1.14 Mio. ha) ergibt sich ein Vorrat aller Waldböden von 110 Mt.

Mit Hilfe der Bodeneignungskarte hat Paulsen (1995) den Kohlenstoffvorrat aller potentiell landwirtschaftlich nutzbaren Böden (3.25 Mio. ha) abgeschätzt. Die Vorräte betragen je nach Kartiereinheit 4 bis etwa 30 kg/m^2 (ohne Moorböden), im Durchschnitt 13.5 kg/m^2 . Die Summe aller Einheiten ergibt einen Vorrat von 441 Mt.

Obwohl mit unterschiedlichen Methoden berechnet, liegen die Werte für die Kohlenstoffgehalte im Boden in ähnlicher Grössenordnung. Die beiden Schätzungen basieren aber auf unterschiedlichen Datenquellen, wobei Paulsens Rechnung bezüglich des Bodens statisch ist. Die Bodeninventur ist grundsätzlich wiederholbar, bleibt aber wegen der geringen Anzahl der Stichproben unsicher. Der Standardfehler von 6 Mt (Perruchoud *et al.*, 2000) entspricht rund 5 % des im Holz (ober- und unterirdisch) gespeicherten C-Vorrates oder dem Holzzuwachs von etwa 7 Jahren. Damit Veränderungen innerhalb einer Verpflichtungsperiode von 5 Jahren sicher erfasst werden können, also für das Kyotoabkommen anwendbar sind, muss die Anzahl der Stichproben substantiell erhöht werden.

3.6 Mögliche Verwendung landwirtschaftlicher Datensätze

Eine ausführliche Untersuchung der Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffflüsse in landwirtschaftlichen Böden wird im Bericht zu den Senken und Quellen in der Landwirtschaft (Leifeld *et al.*, 2002) dargestellt werden. Hier sind lediglich die wichtigsten Resultate und Überlegungen zusammengefasst.

3.6.1 MINERALISCHE BÖDEN

Die Kohlenstoffvorräte können, da nur die Bodeneignungskarte flächendeckende Information liefert, nur indirekt ermittelt werden. Die Abschätzung von ca. 123 Mt C in mineralischen Böden entspricht dem, was man bei der heutigen Datenlage berechnen kann, stützt sich aber auf relativ viele Annahmen.

3.6.2 ORGANISCHE BÖDEN

Zur Fläche der organischen Böden der Schweiz gibt es in der Literatur widersprüchliche Angaben. Gemäss Grünig (1994) wurden seit 1885 in der Schweiz bis heute ca. 180'000 ha Nassstandorte (mehrheitlich Moore) melioriert. Allein 80'000 ha davon wurden 1941 – 1947 durch Drainage zur Nahrungsmittelproduktion in Landwirtschaftsland umgewandelt. Nach Presler (1989) werden in der Schweiz 7'000 ha organische Böden landwirtschaftlich genutzt, wobei nur Gebiete, die grösser als 50 ha sind, untersucht wurden. Die Schätzung von Leifeld *et al.* (2002) liegt bei 12'000 – 22'000 ha. Die Fläche der organischen Böden ist eine entscheidende Grösse, da bei einer jährlichen CO₂-Emission von 7.3 – 11.7 t C/ha sich eine beträchtliche Quellenleistung ergibt.

3.7 Abschätzung bisher nicht erfasster Senken und Quellen

Kohlenstoff wird auch ausserhalb forstlicher und landwirtschaftlicher Kulturen gespeichert. Paulsen (1995) hat mittels der Arealstatistik⁶¹ diese Vorräte in der Vegetation und mit der Bodeneignungskarte der Schweiz (Anonymous, 1980) diejenigen im Boden berechnet. Für die Berechnung der Vegetationsvorräte wurde eine bestimmte Vegetation angenommen und mit den ausgewiesenen Flächen verrechnet. Der resultierende C-Vorrat beträgt rund 7 Mio. t. Beim Bodenkohlenstoff erfolgte die Berechnung innerhalb der Kartiereinheiten. Da die Bodeneignungskarte nicht nach der aktuellen Nutzung unterscheidet und alle Verkehrsflächen ausserorts und kleinere Siedlungsflächen den umgebenden Bodeneignungskategorien zuweist, ist erstens die ausgewiesene Siedlungsfläche nur etwa halb so gross wie in Wirklichkeit und zweitens ist es nicht möglich, Vorräte im Boden nach Nutzung zu unterscheiden. Der Vorrat des Bodenkohlenstoff im Siedlungsgebiet beträgt schätzungsweise 20 Mio t.

Für die Beurteilung der Senken- oder Quellenleistung darf angenommen werden, dass **ohne** Nutzungsänderung diese Vorräte etwa im Gleichgewicht sind, nicht aber bei Nutzungsänderung. Zur Zeit werden jedes Jahr rund 2700 ha⁶² überbaut, wovon gemäss Arealstatistik 1350 ha versiegelt werden. Die meist landwirtschaftliche Vegetation wird zu einem Teil durch Gartenvegetation ersetzt, der Kohlenstoffvorrat verändert sich vermutlich wenig. Der Bodenkohlenstoff hingegen wird auf dem überbauten und versiegelten Teil langfristig abgebaut. Auch wenn Gartenböden mehr Kohlenstoff als Landwirtschaftsböden enthalten

⁶¹ http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber02/asch/dframe1.htm

⁶² In Umwelt Schweiz (Anonymous, 2002) ist auf S. 90 das Wachstum der Siedlungsfläche mit 0.86 m²/s angegeben.

sollten, ist mit einem ansehnlichen Verlust zu rechnen. Bei einem C-Gehalt von 9 kg/m^2 (es gibt jedoch auch andere Schätzungen wie Paulsen (1995) mit 13.6 kg/m^2) und der Annahme, dass der Bodenkohlenstoff der jährlich neu versiegelten Fläche von 1350 ha langfristig zu 70 % abgebaut wird, beträgt der Verlust 85 kt/a und übertrifft bei weitem die Senkenleistung von 7 kt/a , die durch die zu erwartenden landwirtschaftlichen Massnahmen, wie pfluglose Bewirtschaftung und Umwandlung ökologischer Ausgleichsflächen in Dauergrünland allenfalls erreicht werden könnte. Eine detaillierte Abschätzung der Verluste durch Flächenversiegelung findet sich in Leifeld et al. (2002).

Schliesslich ist Kohlenstoff auch in Gewässern gespeichert. Die Vorräte wurden von Paulsen (1995) geschätzt. Vermutlich sind diese Vorräte annähernd im Gleichgewicht.

3.8 Revegetation

Das KP lässt auch zu, dass Revegetation wahlweise⁶³ unter Art. 3.4 angerechnet werden kann. Jede Aktivität, die keiner anderen zugeordnet werden kann und die den Kohlenstoffgehalt einer minimal 0.05 ha grossen Fläche durch Bepflanzen erhöht, kann als Revegetation bezeichnet werden. Ein typisches Beispiel für Revegetation wäre das Bepflanzen einer vorgängig vegetationslosen Fläche, z. B. das Ansäen einer nach Rückzug eines Gletschers freiwerdenden Fläche. Ob auch das Pflanzen von Strauchhecken als eine Revegetation angesehen werden kann, ist eher fraglich, da hier meist nicht von einer Bepflanzung einer vormals vegetationslosen Fläche ausgegangen werden kann. Insgesamt scheinen ohnehin mehrere Gründe klimapolitischer, wirtschaftlicher wie rechtlicher Art dafür zu sprechen, dass gewisse Aktivitäten – wie beispielsweise das Pflanzen von Hecken – vorteilhafter unter Ackerbau ("cropland management") oder Grünlandbewirtschaftung ("grassland management") angerechnet werden. Dadurch könnten komplizierte, feinräumige Unterscheidungen in der Erfassung und Kohlenstoffbilanzierung nach dem KP vermieden werden. Schliesslich ist auch fraglich, ob eine derartig grosszügige Interpretation der Definition des Begriffes Revegetation die Zustimmung der anderen Vertragsstaaten finden würde. Im Falle der Schweiz wird demnach die Revegetation höchstwahrscheinlich bloss eine untergeordnete Rolle spielen.

⁶³ Hier gilt, wie bei den anderen Aktivitäten unter Art. 3.4 (z. B. Forstwirtschaft), dass ein Land sich vor Beginn der Verpflichtungsperiode entscheiden muss, ob es sich diese Aktivität schon in der ersten Verpflichtungsperiode anrechnen lassen will oder nicht.

4 LAUFENDE FORSCHUNGSPROJEKTE

Die zur Zeit laufenden Forschungsprojekte zu den Themen wie biologische Senken, Messung und Anrechnung von Senkenleistung, Kohlenstoffkreislauf, sind im Folgenden kurz beschrieben. Die vollständige Liste befindet sich im Anhang in Tabelle 18.

Die ersten Resultate der für die Schweiz relevanten Projekte werden an den Kongressen präsentiert, die für die verschiedenen Forschungsprogramme durchgeführt werden. Die Daten der Kongresse sind unter den Internetadressen der Forschungsprogramme aufgelistet.

Für die Schweiz und ihre Nachbarländer sind v. a. die folgenden internationalen Forschungsprogramme von Bedeutung:

- COST Action E21 (Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects) (<http://www.bib.fsagx.ac.be/coste21/>)
- IEA-Bioenergy Task 38 "Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems" (2001 – 2003) <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/>. Dieses Forschungsprogramm ist auch ohne direkte Beteiligung für die Schweiz relevant, da Österreich dabei eine wichtige Rolle spielt. Neben einigen weiteren europäischen Staaten sind auch Australien, Kanada und die USA vertreten.
- CarboEurope (<http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/>)

Die in der Schweiz unter der Schirmherrschaft von COST Action E21 laufenden Projekte wurden in (Bugmann, 2000) zusammengefasst, die in Deutschland und Österreich laufenden Projekte in (Baritz & Strich, 2000) und (Weiss & Schlamadinger, 2000).

5 MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER SENKENLEISTUNG

5.1 Mögliche Massnahmen in der Forstwirtschaft

5.1.1 ALLGEMEINE FORSTLICHE MASSNAHMEN

Im Folgenden werden Verbesserungsmassnahmen aufgeführt und kommentiert, die allgemein machbar sind und von der Forstwirtschaft unternommen werden können (Watson *et al.*, 2000). Es handelt sich um Massnahmen, die die Senkenleistung erhöhen oder die Quellenleistung vermindern. Bei einem Teil der für die Schweiz vorgeschlagenen Massnahmen geht es darum, die bereits stattfindende Extensivierung der Holznutzung zusätzlich zu fördern, was der Unterlassung einer Aktivität entspricht.

Die Massnahmen beziehen sich vor allem auf CO₂. Die anderen Treibhausgase spielen im Wald kaum eine Rolle oder sind ungenügend erforscht. Der vermutete Einfluss auf Methan und Lachgas wird an entsprechender Stelle erwähnt.

Die Klimaänderung führt im Laufe der Zeit auch zu einer veränderten Artenzusammensetzung im Wald. Dadurch ist die Forstwirtschaft ihrerseits von der Klimaänderung betroffen, was hier nicht weiter besprochen wird (vgl. Fischlin & Gyalistras, 1997; Bürgi & Brang, 2001).

Die **Senkenleistung** wird gesteigert, indem der Kohlenstoffvorrat im Wald vermehrt, das Wachstum des Waldes allgemein gefördert und die Fläche des Waldes vergrössert wird.

Der **Vorrat**⁶⁴ wird erhöht durch

- Erhöhung der Umtriebszeit: Wegen der ständig steigenden Lohnkosten und den stagnierenden Holzpreisen findet bereits jetzt eine Unternutzung statt, die um so ausgeprägter ist, je kleiner der erwartete Nettoertrag (Ertrag - Kosten) ausfällt. Verknappen sich die öffentlichen Finanzmittel für die Forstwirtschaft, könnte dies zu einer zusätzlichen Erhöhung der Umtriebszeit führen. Daraus können folgende Nachteile entstehen: 1) Ob die Umtriebszeiten tatsächlich erhöht werden können, hängt von der Lebenserwartung der Baumarten ab. Überalterung kann zur Schwächung der Bäume und damit zu Schäden führen. 2) Vermutlich nimmt die Biodiversität ab, da lichtarme Wälder wahrscheinlich eine geringere Diversität als lichte Wälder aufweisen. Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Vorrat werden aber zurzeit schlecht verstanden.
- Schwächere Durchforstung: Verstärkung eines bereits heute stattfindenden Trends, da bei der Durchforstung schwächere Sortimente mit entsprechend kleineren Preisen anfallen, die Nutzung aber schwieriger ist als bei der Endnutzung.

⁶⁴ Damit wird einerseits der traditionelle Begriff des Holzvorrates (Volumen), andererseits der gesamte Kohlenstoffvorrat (Masse) eines Waldökosystems angesprochen. Dabei wird im allgemeinen angenommen, dass sich das gesamte oberirdische und unterirdische Holzvolumen zum nutzbaren proportional verhält (Expansionsfaktor). Die Kohlenstoffmasse wird aus nutzbarem Volumen, Expansionsfaktor, Dichte und Anteil Kohlenstoff an der Biomasse (50 %) berechnet. Es muss beachtet werden, dass diese Annahmen in Wirklichkeit nur bedingt zutreffen, aber mangels besserer Daten üblicherweise dennoch angewandt werden.

- Verjüngung unter Schirm (entspricht üblicherweise einer Erhöhung der Umtriebszeit): Da auf den nachwachsenden Bestand Rücksicht genommen werden muss, verteuert sich die Nutzung. Lichtbaumarten wie Eiche und Lärche werden benachteiligt. Vermutlich nimmt die Biodiversität ab (dunklere Wälder). Hier gilt ebenfalls, was schon unter Erhöhung der Umtriebszeit festgehalten wurde.
- Änderung der Baumartenzusammensetzung: Der Vorrat wurde im Mittelland erhöht, indem Laubholzbestände durch Fichtenbestände ersetzt wurden (wind- und käfergefährdet). Der Vorrat könnte durch stärkeren Anteil der Tanne (Tanne neigt bei unsachgemässer Pflege zu starken Ausfällen, verdrängt standortgerechte Baumarten und führt zu dunklen Wäldern) und durch Anpflanzung von Exoten (Krankheitsrisiko, bekannte Beispiele sind Weymouthsföhre und Douglasie) erhöht werden. Im zweiten Fall ist zwischen der in der Schweiz üblichen Praxis der Beimischung einzelner Exoten und der Anpflanzung reiner Plantagen und damit dem vollständigen Ersatz einheimischer Baumarten zu unterscheiden. Fichten- und Douglasienwälder erreichen grössere Vorräte als Laubwälder, wegen der geringeren Dichte von Nadelholz sind die Unterschiede in der C-Speicherung indes gering, wenn nicht inexistent.

Grosse Holzvorräte können zu instabilen Wäldern und deren Zusammenbrechen führen; Senken werden wieder zu Quellen. Je grösser die betrachtete Fläche ist, desto besser wird das Risiko verteilt. Dennoch wachsen die durchschnittlichen Vorräte, die maximal erzielt werden können, nicht in den Himmel, sondern erreichen in Mitteleuropa einen Höchstwert, der je nach Baumartenzusammensetzung bei 400 – 800 m³/ha liegt (Leibundgut, 1982; Korpel, 1995).

Das **Wachstum** des Waldes wird verbessert durch

- Melioration des Bodens: Sie ist bei Vernässung für standortgerechte Baumarten unnötig, wurde aber vor allem zur Förderung der Fichte ausgeführt. Meliorationen wären allenfalls bei selten vorkommender anthropogener Schädigung angezeigt. Melioration bedeutet Entwässerung, also Sauerstoffzufuhr in den Boden und damit Abbau von organischem Bodenkohlenstoff. Die allenfalls zusätzliche Senkenleistung durch Wachstumserhöhung könnte durch den C-Abbau im Boden kompensiert werden. Andererseits ist auf vernässten Standorten mit Methan- und eventuell auch Lachgasbildung zu rechnen, die bei der Entwässerung gestoppt wird.
- Bewässerung: Sie würde an Südhängen auf flachgründigen Standorten zu stärkerem Wachstum führen. Problematisch sind die Kosten und die Verdrängung der artenreichen Trockenvegetation .
- Düngung: Düngung ist im Waldgesetz verboten (SR 921.01, 1992; Art. 27). Plantagen einheimischer und fremdländischer Baumarten werden in vielen Ländern in unterschiedlicher Masse gedüngt (Watson *et al.*, 2000). Die Literatur bezieht sich daher häufig auf diesen Zweig der Forstwirtschaft und vor allem auf Wälder, die der Produktion von Bau- und Möbelholz dienen, bei dem die Qualität wichtiger ist als die Quantität. Literatur zur Düngung von Wäldern, die nur der Massenproduktion von Holz dienen (nur Brenn- oder Industrieholz, kein Stammholz) und somit eine maximale Senkenleistung aufweisen, ist rar, da die aktuellen Verkaufspreise dieser Sortimente selten eine Düngung erlauben (Bonneau, 1995). Die stärksten Reaktionen sind auf nährstoffarmen Böden und in jüngeren Beständen zu erwarten (Schmidt-Vogt, 1991). Die Reaktionen älterer, standortgerechter Bestände ist weniger eindeutig. Da die meiste Biomasse hier im nährstoffarmen Holz gespeichert ist, wird das Wachstum durch Düngung vermutlich weniger beeinflusst. Die Kosten der Düngung sind hoch, sie wird daher dort angewandt, wo Kosten und Nutzen unmittelbar sind. Mit der zunehmenden Stickstoffdeposition aus der Luft unterliegen die Wälder bereits heute einer Düngung, die das Wachstum fördern könnte (Kauppi

et al., 1992; Brang, 1998; Herrmann *et al.*, 2001). Zur Düngung von Wäldern müssten Mengen verwendet werden, die die Stickstoffdeposition aus der Luft um ein Mehrfaches übertreffen. Sie würde daher noch stärker als die Deposition zur Belastung des Grundwassers führen, wie das Beispiel Landwirtschaft deutlich zeigt. Die Düngung im Wald würde zu einer zusätzlichen Nitratanreicherung des Trinkwassers führen und möglicherweise dessen Produktion beeinträchtigen. Düngung würde vermutlich zu Stickstoffemissionen (Lachgas) führen.

- **Kalkung:** Diese Massnahme könnte auf sauren Standorten zu stärkerem Wachstum und zur Veränderung der Baumartenzusammensetzung führen. Dies wurde in grossem Stil während den 80er Jahren in Deutschland durchgeführt, um die Waldschäden als Folge des sauren Regens zu bekämpfen. Kalkung kann zu Mangelercheinungen und zur Auswaschung von Nährstoffen führen und damit wiederum zur Belastung des Trinkwassers. Die in der Streu und im Oberboden akkumulierte organische Substanz wird verstärkt abgebaut, der Kohlenstoffvorrat im Boden nimmt aus diesem Grunde ab. Der Waldboden wird zur Quelle und kompensiert mindestens teilweise die zusätzliche Senkenleistung. Die Bilanz dieser Vorgänge ist nicht im Detail erforscht.

Die **Fläche** wird vergrössert durch Aufforstungen (im KP unterschieden nach Afforestation, Aufforstung nach mehr als 50 Jahren anderer Nutzung, und Reforestation, Aufforstung nach weniger als 50 Jahren anderer Nutzung). In Mitteleuropa nimmt die Waldfläche ungeplant zu, da Grenzertragsböden in der Landwirtschaft wegen sinkender Erträge nicht mehr genutzt werden, verganden und sich zu Wald zurückbilden.

Die **Quellenleistung** des Waldes wird vermindert durch

- **Schonendere Holznutzung:** Die geringere Störung des Bodens und der verbleibenden Vegetation bei der Holznutzung vermindert den Abbau des in der Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs. Der gegenwärtige Kostendruck führt zu stärkerer Mechanisierung und damit zu stärkerer Störung.
- **Schutz des Waldes vor Schäden (Waldbrandbekämpfung, Schädlingsbekämpfung):** Waldbrände spielen nur auf der Alpensüdseite eine (geringe) Rolle. Am besten kann die Gefahr mit entsprechender Pflege vermindert werden (Probleme bei Durchforstung, siehe oben). Inwiefern hier die Klimaänderung die Verhältnisse verändert könnte, ist noch Gegenstand von Untersuchungen.

Die **Gesamtemissionsbilanz** wird verbessert durch

- **Energieholznutzung:** Das Ziel der Holzernte ist (immer noch) die Bereitstellung möglichst grosser Mengen Stammholz, während die andern Sortimente Koppelprodukte (Brenn- und Industrieholz) sind. Bei der Durchforstung fällt vor allem Industrie- und Brennholz an, ein ansehnlicher Teil bleibt heute mangels Nachfrage liegen und verrottet. Dieses Holz könnte zur Substitution von fossilen Brennstoffen genutzt werden. Eine effizientere Nutzung im Sinne einer möglichst vollständigen Nutzung würde gemäss der momentanen Anrechnungsvorschrift die Quellenleistung nicht vermindern, da geschlagenes Holz und damit auch Ernteverluste als Quelle gelten. Die Gesamtemissionsbilanz hingegen würde deutlich verbessert.

5.1.2 FORSTLICHE MASSNAHMEN IN DER SCHWEIZ UNTER ARTIKEL 3.3

Die **Senkenleistung** wird gesteigert, indem die Fläche des Waldes vergrössert wird. Dazu müssten landwirtschaftlich genutzte und andere bestockbare Flächen wie Moore mit Wald aufgeforstet werden. In Tabelle 7 sind mögliche Massnahmen zusammengestellt.

- Die natürliche Bewaldung als Fortsetzung eines bestehenden Trends verstärken. Die Förderung ist billig. Sie beschleunigt aber den Wandel der Landschaft und widerspricht der Erhaltung der Landwirtschaftsfläche und der landschaftlichen Gliederung⁶⁵. Diese Landschaftsänderung wird sich auch auf den Tourismus auswirken.
- Wird die Bewaldung mit Pflanzungen beschleunigt, ist wahrscheinlich, dass vor allem Fichten auch an nicht geeigneten Standorten verwendet werden.
- Die vollständige Verhinderung von Rodungen ist kaum möglich. Bereits heute werden sie ausschliesslich für Vorhaben von öffentlichem Interesse bewilligt.

Tabelle 7: Mögliche forstliche Massnahmen unter Art. 3.3

Ziel	Massnahme(n)	Allgemeine Auswirkungen	Wirtschaftliche Aspekte
Förderung natürlicher Bewaldung	Nutzungsveränderung	<ul style="list-style-type: none"> • Widerspricht der Erhaltung der Landwirtschaftsfläche und der landschaftlichen Gliederung 	<ul style="list-style-type: none"> • billig • Anrechenbarkeit z. Z. nicht eindeutig • Tourismus
Förderung Aufforstung	Pflanzung	<ul style="list-style-type: none"> • Widerspricht der Erhaltung der Landwirtschaftsfläche und der landschaftlichen Gliederung 	<ul style="list-style-type: none"> • teurer • anrechenbar • Tourismus
Verhinderung Rodungen	Rechtlich/wirtschaftspolitische Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Rodungen sind im gültigen Waldgesetz restriktiv geregelt 	

5.1.3 FORSTLICHE MASSNAHMEN IN DER SCHWEIZ UNTER ARTIKEL 3.4

Unter 5.1.1 haben wir forstliche Massnahmen zur Erhöhung der Senkenleistung des Waldes aufgezählt, die allgemein durchführbar sind und in den verschiedenen Klimazonen der Erde teilweise auch praktiziert werden. Diese Massnahmen können in erwägenswerte und nicht zu empfehlende unterschieden werden.

Für die Schweiz nicht sinnvolle Massnahmen sind in der Tabelle 8 zusammengestellt und im folgenden kurz kommentiert.

- Die Anpflanzung schnellwüchsiger Bäume war und ist in der Forstwirtschaft seit 200 Jahren ein Thema. Bei der Massenproduktion hat sich in Mitteleuropa einzig der Anbau der Fichte ausserhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes teilweise bewährt.
- Entwässerungen sind für standortgerechte Baumarten unnötig. Sie wurden ausgeführt als Starthilfe für Fichtenpflanzungen. Standortgerechte Baumarten weisen die gleiche Senkenleistung auf wie Fichten. Bei einer Entwässerung ist zu erwarten, dass der Bodenkohlenstoff reduziert wird.

⁶⁵ Landschaftskonzept Schweiz 1997

- Bewässerung könnte in trockenen Gebieten (Südhänge, Alpensüdseite, Wallis) zu einer Beschleunigung des Wachstums führen. Die Baumartenzusammensetzung ändert sich. Seltene, nur in Trockengebieten vorkommende Pflanzen werden verdrängt.
- Vorgezogene Nutzung ist nur im ersten Verpflichtungszeitraum möglich und wird sich, wenn überhaupt, auch bei extremer Ausführung nur über wenige Verpflichtungszeiträume auswirken.

Tabelle 8: In der Schweiz mögliche, nicht sinnvolle forstliche Massnahmen

Ziel	Massnahme(n)	Allgemeine Auswirkungen	Wirtschaftliche Aspekte
Plantagen schnellwüchsiger fremdländischer Baumarten	Nach Räumungen Aufforstungen mit schnellwüchsigen Baumarten	<ul style="list-style-type: none"> • Möglicherweise wenig standortgerechte Baumarten • Schädlingsprobleme • Instabile Bestände • Möglicherweise neuartige Nutzungen • Rechtliche Anpassungen (Düngung, Schädlingsbekämpfung) • Bodenverdichtung, Grundwasserprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für Wiederaufforstung • Erhöhte Pflegekosten • Finanzielle Anreize nötig • Akzeptabel, wenn das Holz zur Substitution nicht erneuerbarer Rohstoffe genutzt wird
Bodenverbesserung	Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Entwässerung für standortgerechte Baumarten unnötig 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederkehrende Kosten (Unterhalt der Entwässerung) • Finanzielle Anreize nötig
Bodenverbesserung	Bewässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Veränderung der Baumartenzusammensetzung • Grundwasserprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederkehrende grosse Kosten (Unterhalt und Wasser) • Finanzielle Anreize nötig
Vorgezogene Nutzung	Intensivierte Nutzung zwecks Minimierung während erstem Verpflichtungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Zielkonflikte mit anderen Waldfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vor 2008 sinkende Holzpreise • Ab 2008 vorübergehend erhöhte Holzpreise • Finanzielle Anreize nötig

Damit bleiben die folgenden forstlich sinnvollen Massnahmen (vgl. Tabelle 9): Erhöhung der Umtriebszeit, standortgerechter Anbau, vermehrte Nutzung von Energie- und Konstruktionsholz.

Die **Erhöhung der Umtriebszeit** ist bereits gängige Praxis, weil infolge tieferer Holzpreise und höherer Nutzungskosten eine Unternutzung stattfindet. Die Erhöhung wird durch die finanziellen Rahmenbedingungen erzwungen, ist forstwirtschaftlich aber unerwünscht, da sie zu Überalterung der Bestände und damit zu einer erhöhten Schadenanfälligkeit führen kann. Die Wälder werden licht- und damit meist artenärmer. Die Verjüngung unter Schirm fördert die schattentoleranten Baumarten wie Tanne und Buche und ist damit vor allem in deren Verbreitungsgebiet möglich. Lichtbaumarten wie Birke, Kirsche und Eiche werden zurück

gedrängt. Verjüngung unter Schirm verteuert die Nutzung, da beim Holzen auf den Jungwuchs Rücksicht genommen werden muss – bei den heutigen Erträgen in der Forstwirtschaft ist dies finanziell nicht vertretbar.

Eine **Änderung der Baumartenzusammensetzung** ist in der Schweiz vor allem mit einem standortgerechten Anbau zu realisieren. Das bedeutet, dass die nicht standortheimischen Fichtenwälder des Mittellandes durch Buchen- und andere Laubwälder ersetzt werden müssten, wie es von der Lehre seit langem gefordert und von der Gesellschaft gewünscht wird. Dies würde auch zu stabileren, weniger windwurfgefährdeten Beständen führen. Der Holzvorrat von Buchenwäldern ist geringer als derjenige von Fichtenwäldern, der C-Vorrat etwa gleich. Die Senkenleistung wird also durch diese Massnahme nicht erhöht, vielleicht sogar verkleinert.

Die vermehrte **Energieholznutzung** fördert die Substitution von fossilen Brennstoffen. Die Massnahme erhöht weder den Kohlenstoffvorrat noch die Senkenleistung des Waldes. Sie hat keine Auswirkung auf die Holznutzung, solange allfällige Abgeltungen nicht zu Schlägen führen, die nur eine Energieholzgewinnung bewirken. Wegen der geringen Erträge bleibt je nach Sortiment, Kostenstruktur und Organisation der Holzschläge ein 1/5 bis 1/3 liegen. Dieses Holz könnte teilweise als Brennholz verwertet werden. Dazu braucht es eine Beratung der Waldbesitzer. Zudem müsste die Nutzung finanziell gefördert werden. Sofern die Hälfte des geschätzten Nutzungsverlustes von 25 % als Energieholz verwertet werden könnte, entspräche diese Menge rund 0.5 Mio. m³ Holz oder etwa 100'000 t Öl. Die Emissionen würden um 90'000 t C vermindert. Die zusätzliche Nutzung müsste so gestaltet werden, dass der Waldboden nicht zusätzlich befahren wird, weil sonst der Boden verdichtet wird. Die vermehrte Aufarbeitung im Wald von sonst nicht kostendeckenden Sortimenten erfordert eine finanzielle Abgeltung, die im Vergleich zu andern Massnahmen aber klein ist.

Ein wichtiges Ziel des traditionellen Waldbaus war die Förderung möglichst starker Sortimente, da aus dicken (und langen) Stämmen alle gewünschten Holzwaren gesägt werden können. Mit den heutigen Möglichkeiten, Träger zusammenzuleimen, hat die Nachfrage nach dicken und langen Stämmen abgenommen. Sofern die Energieholznutzung stärker gewichtet wird, wäre die jetzt praktizierte Auslesedurchforstung zu überdenken. Bei der Energieholznutzung spielen die produzierte Masse und die Erntekosten eine Rolle, während starke, möglichst lange, astfreie, gerade Stämme unwichtig werden. Da durchforstete und nicht durchforstete Bestände ähnliche Zuwächse aufweisen (bei ersteren sind sie auf weniger Stämme konzentriert), spielt die Pflege nicht mehr so eine wichtige Rolle. Die Holzverarbeitung zeigt in die gleiche Richtung. Je länger um so häufiger wird aus einem Stamm die gewünschte Dimension gefräst, der Abfall wird zu Energie- oder Papierholz. Grosse Dimensionen werden zusammengeleimt. Starke, gerade, astfreie Sortimente sind nur noch für Furnierholz nötig. Diese Entwicklung darf aber nicht dazu führen, dass das nicht mehr in der Schweiz produzierte Starkholz aus Tropenregionen importiert wird (sog. Leakage).

Die vermehrte **Konstruktionsholznutzung** ersetzt andere Baumaterialien, vor allem Stahl und Beton. Die Massnahme führt zu einer stärkeren Nutzung von Holz und damit zwar zu einer Abnahme des Kohlenstoffvorrates im Wald, dafür verbessert sich die Gesamtemissionsbilanz. Die notwendigen Abgeltungen sind vermutlich grösser als bei der Förderung der Energieholznutzung.

Tabelle 9: Forstliche Massnahmen in der Schweiz

Ziel	Massnahme(n) ⁶⁶	Allgemeine Auswirkungen	C-Vorrat	Senkenleistung ⁶⁷		Wirtschaftliche Aspekte
Umtriebszeit erhöhen	Anteil der Standorte erhöhen, die seltener und weniger als in der Vergangenheit genutzt werden	<ul style="list-style-type: none"> • Hängt von vorhandenen Baumarten ab • Überalterung, kann zu erhöhter Anfälligkeit gegenüber Schädigungen führen • In Gebirgswäldern ergibt sich ein Zielkonflikt mit der für den Schutzwald nötigen Verjüngung. • Biodiversität nimmt möglicherweise ab⁶⁸ • Rückgang des Holzertrags 	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> • Fortsetzung bestehender Trends, die v. a. ökonomisch bedingt sind (Rückgang der Holzpreise, Anstieg der Ernte- bzw. Lohnkosten) • Verminderte Pflegekosten • Verminderter Ertrag aus Holzverkauf • Rückgang von Wald- und Holzwirtschaft
	Verjüngung unter Schirm fördern	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtbaumarten werden benachteiligt • Biodiversität nimmt möglicherweise ab 	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> • Finanzielle Anreize nötig
Totholz ⁶⁹	Erhöhung des Totholzanteils	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Biodiversität • Erhöhung des Humusvorrats • Förderung der Verjüngung im Gebirge bei Konkurrenz durch Krautschicht 		+		<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierter Ertrag aus Holzverkauf • geringere Erntekosten • finanzielle Anreize nötig

⁶⁶ Massnahmen beziehen sich auf einen Verantwortungsbereich wie beispielsweise Korporation, Gemeinde oder Forstrevier.

⁶⁷ Angaben zur Senkenleistung in der linken Spalte beziehen sich hauptsächlich auf den ersten Verpflichtungszeitraum (kurzfristig). Die rechte Spalte gibt Auskunft über die anzunehmende längerfristige (mehrere Verpflichtungszeiträume umfassende) Entwicklung. Die Spalten beziehen sich lediglich auf die Kohlenstoffvorräte, mögliche abweichende Auswirkungen auf den Holzvorrat bleiben unbeachtet.

⁶⁸ Dies ist vor allem bei älteren Beständen der Fall. Bei jüngeren oder stark gestörten Beständen (z. B. Lothar) ist eher mit einer Zunahme der Biodiversität zu rechnen.

⁶⁹ Der Totholzanteil nimmt auch bei andern Massnahmen zu (z. B. keine Pflege).

Ziel	Massnahme(n) ⁶⁶	Allgemeine Auswirkungen	C-Vorrat	Senkenleistung ⁶⁷		Wirtschaftliche Aspekte
Combined Carbon and Biodiversity Forestry	Bestände werden naturnah und ausgerichtet auf einen hohen Vorrat und Senkenmaximierung genutzt und gepflegt.	<ul style="list-style-type: none"> • Naturnahe Bestände • Geeignete Bewirtschaftungsmethoden mit Gewährleistung der Verjüngung müssen entwickelt werden. • Lichtbaumarten werden benachteiligt • Zielkonflikte mit anderen Waldfunktionen 	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> • Finanzielle Anreize nötig, u. U. durch Verkauf von zertifizierten Emissionsreduktionen teilweise erfüllt
Standortgerechter Anbau	Im Mittelland Fichten durch Laubbäume ersetzen	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristig stabilere Bestände 	0	0?		<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für Wildschutz • Verminderter Ertrag aus Holzverkauf ^{t70} • Finanzielle Anreize nötig
Minimalste Pflege ⁷¹	Nutzung nur vor Zerfall ohne weitere Eingriffe, evtl. Beschränkung auf Zwangsnutzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr (Stark-)Holzimporte • (Fast) nur Brenn- und Industrielholzproduktion • Standortgerechte Baumarten • Möglicherweise erhöhte Biodiversität • Forstdienste verlieren an Bedeutung, lediglich noch für sanitäre Dienste bzw. Senkenleistungen zuständig 	+	+		<ul style="list-style-type: none"> • Verminderte Pflegekosten • Reduzierter Ertrag aus Starkholzverkauf • Rückgang von Wald- und Holzwirtschaft

⁷⁰ Bei den heutigen Preisverhältnissen ergibt Buche einen kleineren Erlös als Fichte/Tanne.

⁷¹ Annahme: Holznutzung bleibt erhalten, Hinweis: minimalste Pflege heisst nicht minimalste Nutzung!

Ziel	Massnahme(n) ⁶⁶	Allgemeine Auswirkungen	C-Vorrat	Senkenleistung ⁶⁷		Wirtschaftliche Aspekte
Keine Pflege	Waldgebiete unter Naturschutz stellen bzw. aus bewirtschafteten Gebieten ausscheiden	<ul style="list-style-type: none"> • Völliger Verzicht auf forstliche Eingriffe • Holz wird importiert • Erhöhte Biodiversität • Forstdienste verlieren an Bedeutung 	+	+		<ul style="list-style-type: none"> • Keine Wald- und Holzwirtschaft • Keine Pflegekosten • Kein Ertrag aus Holzverkauf • Andere Gewichtung der Waldfunktionen
Vermehrte Nutzung von Energieholz (forstliche und energiepolitische Massnahme)	Z. B. Schwachholznutzung als Koppelprodukt ⁷² fördern	<ul style="list-style-type: none"> • Substitution fossiler Brennstoffe • Zusätzliche Gefahr der Bodenverdichtung 	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionen in neue Ernte-technologien • Geringe finanzielle Anreize genügen
	Auslesedurchforstung aufgeben und Umtriebszeiten verkürzen	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Starkholzimporte 	-	0	0	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderte Pflegekosten • Investitionen in neue Ernte-technologien
	Ausscheidung von Niederwaldzonen mit kurzen Umtriebszeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Starkholzimporte • Möglicherweise erhöhte Biodiversität⁷³ 	-	0	0	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderte Pflegekosten • Investitionen in neue Ernte-technologien
Vermehrte Nutzung von Holz als Konstruktions- und Werkstoff	Förderung der Verwendung von Holz im Bau anstelle von Stahl, Beton und weiterer Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkere Holznutzung 	-	0	0	<ul style="list-style-type: none"> • Finanzielle Anreize nötig

⁷² Hier wird die übliche Koppelung mit Starkholznutzung angesprochen. Das Ziel ist die Reduktion der Ernterückstände.

⁷³ Z. B. bei gleichzeitiger Förderung von Mittelwäldern

Im LFI 2 (Brassel & Brändli, 1999) wurden bereits verschiedene Szenarien gerechnet (Tabelle 10). Szenario 2015-1 entspricht der bisherigen Nutzung, die bis ins Jahr 2015 fortgesetzt wird. Dies ist im Moment das wahrscheinlichste Szenario. Die Vorräte nehmen weiter langsam zu.

Bei minimaler Nutzung (Szenario 2015-2) werden für das Jahr 2015 im Mittelland und in den Voralpen grosse Vorräte berechnet, die nach forstwirtschaftlichem Verständnis instabileren Wäldern entsprechen. Die Vorräte in den Alpen bleiben dagegen immer noch auf forstwirtschaftlich akzeptablem Niveau. Der grösste Unterschied zum Szenario 2015-1 tritt im Mittelland auf, weil hier die Nutzung etwa dem starkem Zuwachs entspricht. Die Vorräte auf der Alpensüdseite schliesslich nehmen kaum zu und erreichen nicht einmal die heutigen Werte der Alpennordseite. Die Vorraterhöhung durch fast völlige Einstellung der Holznutzung als Klimaschutzmassnahme kommt auf längere Sicht nur auf der Alpensüdseite wegen des kleinen Vorrates und des geringen Zuwachses in Frage. Aber gerade wegen des geringen Zuwachses ist die Senkenleistung dort von geringem Interesse.

Die minimale Waldbewirtschaftung würde im Mittelland bereits nach wenigen Jahrzehnten zu extremen Vorräten führen (Szenario 2015-2). Das Senkenpotential wäre ausgeschöpft. Auf der Alpensüdseite spielt die Grösse der Nutzung kaum eine Rolle, weil wenig wächst und wenig genutzt wird. Die minimale Waldbewirtschaftung ist schwierig umsetzbar, da an der Nutzung interessierte private wie öffentliche Waldbesitzer zu einer minimalen Nutzung verpflichtet werden müssten. Es müsste noch mehr Holz als heute importiert werden. Die Reduktion forstlicher Subventionen würde sicher einen weiteren Rückgang der Nutzung bewirken. Aber erst Jahrzehnte nach dem Abschöpfen der Erträge aus getätigten Investitionen (Pflege, Infrastruktur) würde die Nutzung ohne weiteren Druck ein Niveau erreichen, das dem der minimalen Waldbewirtschaftung entspricht.

Szenario 2015-3 (Nutzung des Zuwachses) und 2015-4 (Reduktion der Vorräte) werden hier nicht weiter besprochen.

Als **Fazit** bleibt festzuhalten, dass die Vorräte am einfachsten durch Umtriebszeiterhöhung vergrössert werden können, was ohnehin bereits geschieht. Daneben sollte die Energieholznutzung, also die Substitution fossiler Brennstoffe, gefördert werden. Zur Zeit bleibt aus Kostengründen ein ansehnlicher Teil des Holzes bei der Nutzung im Wald liegen. Dieses Holz könnte mit entsprechender organisatorischer Unterstützung und finanziellen Anreizen der Nutzung zugeführt werden.

Tabelle 10: Vorrat 1995 und Vorratsentwicklung bis 2015 (Schaftholz in Rinde, Auswertungseinheit: gleichförmiger Hochwald) nach Szenarien aus dem LFI 2 in m³/ha (Brassel & Brändli, 1999, Tab. 232). Die Szenarien bedeuten: 2015-1) gleiche Nutzung wie bisher, 2015-2) minimale Waldbewirtschaftung, 2015-3) Nutzung des Zuwachses und 2015-4) maximal vertretbare Nutzung.

Szenario	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Alpensüdseite	Schweiz
1995	380	433	483	340	227	389
2015-1	436	471	539	353	283	428
2015-2	551	765	667	407	286	565
2015-3	370	437	474	345	208	386
2015-4	263	291	332	250	155	271

Bis anhin war ausser bei der Kalkung der Böden nur von der oberirdischen Holzmasse, bei den LFI-Szenarien (Tabelle 10) sogar nur von der oberirdischen Derbholzmasse (Durchmesser > 7 cm), die Rede. Kohlenstoff wird aber auch in den Ästen und in den Wurzeln gespeichert. Üblicherweise werden diese zusätzlichen Volumina aus der Derbholzmasse abgeschätzt (Burschel *et al.*, 1993; Perruchoud *et al.*, 2000), indem angenommen wird, dass sie sich parallel zum Derbholz entwickeln. Diese Volumina werden mit mittleren Holzdichten und einem C-Gehalt von 0.5kg pro kg Biomasse umgerechnet. Die Datenlage für diese Umrechnungen ist eher dürftig. Die Kohlenstoffsinkenleistung des Waldes in Tabelle 11 wurde auf diese Weise geschätzt.

Tabelle 11: Gemäss den LFI-Szenarien (siehe Tabelle 10) prognostizierte Vorratsänderungen pro ha, hochgerechnet auf die gesamte zugängliche Waldfläche (1'139'860 ha) und ausgewertet hinsichtlich der C-Sinkenleistung.

Szenario	Vorratsänderung in 20 Jahren [m ³ ha ⁻¹]	Vorratsänderung [10 ³ m ³ a ⁻¹]	Biomasse ⁷⁴ [10 ³ m ³ a ⁻¹]	Senken-/Quellenleistung [kt C a ⁻¹]
2015-1	39	2'223	1'718	859
2015-2	176	10'031	7'755	3'877
2015-3	-3	-171	-132	-66
2015-4	-118	-6'725	-5'199	-2'600

Weiter bleibt der Kohlenstoffvorrat des Bodens unberücksichtigt. Gemäss Perruchoud *et al.* (2000) befindet sich 45 % des biologischen Kohlenstoffs des Waldes im Boden, nämlich 110 Mio. t im organischen Bodenmaterial und 136 Mio. t in der lebenden Biomasse. Dieser Wert wurde aufgrund von rund 180 Bodenstichproben berechnet. Nach Paulsen (1995) enthält der Boden 13.3 kg C/m², die lebende Biomasse 11.7 kg C/m², der Anteil des Bodens beträgt somit 53 %. In Österreich sind es nach Englisch (2001) 60 %. Nach Paulsen (1995) kommen im Wald weitere 1.5 kg C/m² dazu, die in der Streuauflage gespeichert sind. Die Werte sind relativ unsicher (± 10 %). Diese Unsicherheit ist zu gross, um allfällige Veränderungen innert eines Jahrzehntes (zwei Kyoto-Verpflichtungszeiträume) zu erfassen. Zudem ist auch unklar, wie der Bodenkohlenstoffvorrat vom Holzvorrat abhängt. Weiter ist unbekannt, wie sich der Bodenkohlenstoffvorrat in den einwachsenden Flächen entwickelt. Die Datenlage ist für diesen Bereich noch prekärer. Es besteht hier klar ein Bedarf die Datenlage zu verbessern, da das KP aus nachvollziehbaren Gründen verlangt⁷⁵, dass auch die möglichen Veränderungen im C-Gehalt der Waldböden mit erfasst werden müssen (cf. C-Vorräte in Böden der borealen Wälder Watson *et al.*, 2000).

5.1.4 FORSTLICHE SENKENPROJEKTE IN DER SCHWEIZ

Zwei Praxisprojekte sind zur Zeit in der Schweiz in Planung. Beim ersten handelt es sich um einen Stadtwald. Der Sturm Lothar warf dort 1999 Bäume mit einem Volumen von insgesamt rund 43'000 m³ Holz, was 20 % des stehenden Holzvorrates entspricht. Der durchschnittliche Holzvorrat sank daher von 315 m³/ha auf 250 m³/ha, der geworfene Holzvorrat entspricht 6.5 Jahresnutzungen. Um den gestörten Altersklassenaufbau des Waldes wieder zu

⁷⁴ Mit der Dichte 0.384 t/m³ (Nadelholz) oder 0.556 t/m³ (Laubholz) und dem Expansionsfaktor 1.45 ermittelte Trockenmasse. Der durchschnittliche Nadelholzanteil beträgt 65 %.

⁷⁵ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p. 62

normalisieren und den Vorrat zu erhöhen, soll in den nächsten 10 Jahren auf 80 % der Nutzung verzichtet werden, nicht hingegen auf die Pflege der jungen Bestände. Damit wird sichergestellt, dass auch in Zukunft mit diesen jungen Beständen Qualitätsholz produziert werden kann. In 10 Jahren kann die Nutzung wieder aufgenommen werden, sofern dies gewünscht wird. Dabei muss einzig die Höhe des Vorrats erhalten bleiben. Die Nutzungseinschränkung führt zu einer Vorratserhöhung von $65 \text{ m}^3/\text{ha}$ in 10 Jahren. Dadurch werden auf einer Fläche von 700 ha rund $50'000 \text{ m}^3$ Holz bzw. rund $60'000 \text{ t CO}_2$ zusätzlich gespeichert, wovon aber nur ein Bruchteil in der 1. Verpflichtungsperiode anrechenbar wäre. Die Kosten betragen rund Fr. $3'000'000.--$ oder etwa Fr. 50.-- pro Tonne CO_2 . Die Bewirtschaftung bleibt nachhaltig, da der Vorrat nur wenig erhöht wird und die Wälder stabil bleiben. Teil des Projektes ist es, betroffenen Kreisen die Möglichkeit eines runden Tisches zu bieten, um sich mit der Thematik zu beschäftigen und Vor- und Nachteile von Senkenprojekten zu diskutieren, auch im Zusammenhang mit anderen Waldfunktionen wie Erholung, Holzproduktion, Steinschlagschutz und Biodiversität. Das Projekt hat noch keinen Sponsoren gefunden.

Beim zweiten Projekt handelt es sich um ein Waldreservatsprojekt in St. Brais, Kanton Jura, in dem Teile des Gemeindewaldes, nämlich 28.2 ha, während mindestens 99 Jahren nicht mehr genutzt werden sollen. Der durchschnittliche Biomassenvorrat eines mitteleuropäischen Urwaldes (im Gleichgewicht) beträgt rund das Doppelte eines nachhaltig bewirtschafteten Waldes. Gemäss BUWAL-Richtlinien beträgt die mögliche, einmalige Entschädigung für das Reservat Fr. $127'400.--$. An diesen Betrag zahlen der Bund 50 % und der Kanton Jura 20 %. Den verbleibenden Anteil von ca. Fr. $38'000.--$ übernimmt die Sponsorin, The Body Shop Schweiz, zur Kompensation ihrer CO_2 -Emissionen. Dies ist eine freiwillige Massnahme, die völlig unabhängig von irgendwelchen Reduktionsverpflichtungen gemäss KP oder CO_2 -Reduktionsgesetz ist. Das Projekt wird von der Firma SILVACONSULT AG, Winterthur, betreut, die wiederum von der englischen Firma FutureForest beauftragt wurde. Aus dem Vergleich von Urwäldern und bewirtschafteten Wäldern folgt, dass auf der betreffenden Fläche im Laufe der Zeit $10'000$ bis $15'000 \text{ t CO}_2$ gebunden werden können. Im Projekt wurden $10'000 \text{ t CO}_2$ angenommen. Bedingung ist dabei, dass der grosse Holzvorrat auf die Dauer trotz Naturereignissen wie Stürmen erhalten bleibt. Das Projekt wurde von der Gemeindeversammlung bewilligt und kann damit als gesichert gelten.

Der Vorteil dieses schweizerischen Projektes liegt darin, dass es in das Reservatskonzept des Kantons Jura eingebunden ist. Die Gemeinde St. Brais schliesst einen Vertrag mit dem Kanton ab. Dieser ist Bedingung für das Sponsoring. Die Reservatseigenschaft wird im Grundbuch eingetragen.

5.2 Landwirtschaftliche Massnahmen in der Schweiz unter Artikel 3.4

Landwirtschaftliche Massnahmen in der Schweiz umfassen Aktivitäten im Ackerbau, in der Grünlandwirtschaft, und in der Bewirtschaftung organischer Böden. Der grösste Teil dieser Massnahmen wird zur Zeit nicht umgesetzt, sondern stellt lediglich ein Potential dar, welches in Abhängigkeit von politischen Entscheidungen umgesetzt werden kann.

Zur Abschätzung landwirtschaftlicher Kohlenstoffvorräte und Sequestrierungsaktivitäten wurden Daten aus 544 Bodenprofilen aus nationalen und kantonalen Bodenbeobachtungen sowie aus Zeitschriftenartikeln gesammelt und mit den räumlichen Daten der Landestopographie, der Arealstatistik, der Gemeindestatistik, der (digitalen) Bodeneignungskarte (BEK), und der Mooringinventare statistisch in Zusammenhang gebracht. Wesentliche Unsicherheiten bei der Abschätzung sind:

- Mangelnde Genauigkeit der BEK
- Ungenügende räumliche Übereinstimmung Moorinventare – BEK
- Unsicherheit der Fläche landwirtschaftlich genutzter organischer Böden
- Fehlende räumliche Zuordnung der Landnutzungskategorien Acker, Kunstwiese, Dauergrünland auf Ebene der Arealstatistik
- Kleine Bestimmtheitsmasse der Regressionen
- Zum Teil mangelnde Übertragbarkeit der Ergebnisse ausländischer Studien auf schweizerische Klima- und Landwirtschaftsverhältnisse

Was diese Unsicherheiten für die Aussagekraft der Sequestrierungsaktivitäten bedeuten, wird im Bericht über landwirtschaftliche Kohlenstoffvorräte – und Bindungspotentiale (Leifeld *et al.*, 2002) detailliert angesprochen. Daneben ist dort auch eine weitreichendere Interpretation der Daten zu finden.

Als wesentliche Massnahmen zur Steigerung der Kohlenstoffspeicherung in der Landwirtschaft werden folgende Massnahmen angesehen:

- Im Ackerbau sind die beiden wichtigsten potentiellen Sequestrierungsaktivitäten der pfluglose Anbau und die Erhöhung des Kunstwiesenanteils in der Fruchtfolge. Für beide Aktivitäten ist eine Erhöhung des Bodenkohlenstoffvorrats anzunehmen.
- Die Umwandlung von Acker- zu Grünland stellt eine sichere Möglichkeit dar, Kohlenstoff im Boden zu sequestrieren.
- Die Renaturierung landwirtschaftlich genutzter organischer Böden oder alternativ die Extensivierung landwirtschaftlich genutzter organischer Böden durch Umwandlung in Dauergrünland stellen diejenigen Aktivitäten dar, die das grösste Potential pro Fläche bieten.
- Bei den genannten Aktivitäten überwiegt der Gewinn durch Kohlenstoffspeicherung gegenteilige Effekte, die durch erhöhte Lachgas- (pfluglose Bewirtschaftung, Erhöhung Kunstwiesenanteil) oder Methanemissionen (Renaturierung org. Böden) entstehen können.
- Grünlandextensivierung kann hinsichtlich der Kohlenstoffsequestrierung nicht sicher abgeschätzt werden, führt aber zu einer Reduzierung der Lachgasemissionen.

Die Bedeutung des integrierten und biologischen Anbaus für die Kohlenstoffsequestrierung kann derzeit nicht quantifiziert werden.

Tabelle 12 zeigt eine Übersicht relevanter landwirtschaftlicher Sequestrierungsaktivitäten und deren zu erwartende Auswirkungen auf die anderen Treibhausgase. Es ist zu beachten, dass die Senkenleistung der meisten Aktivitäten lediglich das Potential darstellt und nicht dessen derzeitige Umsetzung. Eine Erhöhung der Fläche unter pflugloser Bewirtschaftung weit über das jetzige Niveau hinaus wäre denkbar und entspräche dem Trend des letzten Jahrzehnts. Eine Erhöhung des Kunstwiesenanteils von heute ca. 28% der Ackerfläche auf ca. 34% der Ackerfläche (=Niveau von 1960) wäre ebenfalls möglich; die Erhöhung des Boden-C-Gehaltes lässt sich allerdings nicht quantifizieren. Die Umwandlung von Acker zu (extensivem) Dauergrünland liesse sich z. B. realisieren, wenn ökologische Ausgleichsflächen vollständig aus der Rotation herausgenommen würden, wie in Tabelle 12 angenommen. Die Renaturierung organischer Böden bietet das grösste Potential. Dazu muss indes der Grundwasserspiegel erhöht werden, was eine landwirtschaftliche Nutzung erschwert oder verhindert. Die Biodiversität nimmt dagegen zu. Die Erhaltung vorhandener intakter Moore ist ein aktiver Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung, welcher aber möglicherweise durch gleichzeitige Methanemissionen kompensiert wird.

Tabelle 12: Abschätzung landwirtschaftlicher Senkenleistungen. Für organische Böden sind die durch Umwandlung oder Renaturierung vermeidbaren Emissionen einem Senkenpotential gleichgesetzt. (Details und Datenquelle (Leifeld *et al.*, 2002)).

Massnahme	Fläche [ha]	Senkenleistung		Andere Treibhaus- gase ⁷⁶	Kommentare
		[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	[t C a ⁻¹]		
Pfluglose Bewirtschaftung	8230	0.33 ± 0.10	2716 ± 823	- N ₂ O	Aktuelle Fläche, höheres Potential durch Flächenausweitung; N ₂ O-Quelle ist wahrscheinlich
Erhöhung Kunstwiesenanteil	n. b. ⁷⁷	+	n. b.	- N ₂ O	N ₂ O-Quelle ist möglich
Umwandlung Acker -> Dauergrünland	10700 ⁷⁸	0.42 – 0.46	4500 – 4900	± N ₂ O	Sequestrierung, wenn ökolog. Ausgleichsflächen dauerhaft aus der Rotation genommen würden! N ₂ O: Quelle bei Intensivnutzung, Senke bei langjährigen ökologischen Ausgleichsflächen
Grünlandextensivierung	n. b.	n. b.	n. b.	+ N ₂ O	Sequestrierung ist unsicher, N ₂ O-Senke ist sicher
Renaturierung org. Böden	n. b.	0.45 ± 0.2 plus 9.5 ± 2.2	n. b.	+ N ₂ O - CH ₄	Nettoeffekt (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄) setzt sich zusammen aus Sequestrierung plus vermiedener Emission und ist negativ (Senke) für mindestens 200 Jahre. Max. Fläche für diese Aktivität: 17'000 ± 5000 ha
Umwandlung org. Böden in Dauergrünland	n. b.	6.5	n. b.	n. b.	6.5 t OC ha ⁻¹ a ⁻¹ Emissionsreduktion bei Umwandlung -> Dauergrünland; Annahme: derzeitige Mischnutzung org. Böden als Acker und Dauergrünland ⁷⁹

Aus der Zusammenstellung landwirtschaftlicher Massnahmen und weiterer in Leifeld et al. (2002) diskutierten Aspekte lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

⁷⁶ Positives Vorzeichen: Senke bzw. Quellenreduktion, negatives Vorzeichen: Quelle

⁷⁷ Nicht bekannt oder derzeit nicht realisiert

⁷⁸ Projektierte ökolog. Ausgleichsflächen in 2020

⁷⁹ Die tatsächliche Nutzungsverteilung org. Böden zwischen Acker und Grünland ist nicht bekannt. Gerechnet wurde daher mit mittleren Emissionen unterschiedlicher Nutzungsformen.

- Die Landwirtschaft bietet ein quantitativ relevantes Potential für die Kohlenstoffspeicherung, wenn alle Möglichkeiten konsequent ausgenutzt werden. Dies setzt eine Modifikation der derzeitigen landwirtschaftlichen Struktur voraus.
- Aus der Datenunsicherheit ergibt sich Forschungsbedarf vor allem hinsichtlich a) der Fläche und der Nettotreibhausgasflüsse organischer Böden, und b) der Auswirkung einer Grünlandextensivierung auf die Kohlenstoffbilanz.
- Die Auswirkung integrierter und biologischer Landwirtschaft auf die Kohlenstoffsequestrierung lässt sich nicht quantifizieren. Ein Vorteil dieser Systeme liegt in ihrer günstigeren Ökobilanz durch den reduzierten Einsatz fossiler Energie.

Die in Tabelle 12 dargestellte Quantifizierung bezieht sich auf Flächen, auf denen diese Massnahmen heute schon realisiert werden oder projiziert sind. Eine potentiell erreichbare, aber in ihrer Umsetzung unrealistische C-Sequestrierung von 200 - 400 kt C/a könnte durch die Umstellung aller Ackerflächen auf pfluglose Bewirtschaftung⁸⁰, deren Umwandlung in Grünland oder durch die Renaturierung aller organischen Böden erreicht werden. Es fällt auf, dass die zu erwartende Senkenleistung verglichen mit jener des Waldes (7 zu 983 kt C/a vgl. Tabelle 6) klein und dass die Datenunsicherheit sehr gross ist. Zudem gilt es zu beachten, dass in der Landwirtschaft sowohl für Quellen wie für Senken das sog. "Net-Net-Accounting" zum Zuge kommt, was infolge der grossen Unsicherheiten bedeutet, dass keine signifikanten Änderungen gegenüber 1990 feststellbar sind. Somit änderte sich die nationale THG-Bilanz gemäss KP infolge Miteinbeziehens der Landwirtschaft nur in ganz geringem Ausmass. Diese Aussage hängt natürlich auch davon ab, ob durch weitere Forschungsbemühungen nicht doch bessere Daten retrospektiv und für den Zeitraum 2008 – 2012 bereitgestellt werden können.⁸¹

5.3 Massnahmen in anderen Bereichen

Wie in Kapitel 3.7 dargestellt, führt die Überbauung und die Versiegelung von Böden zu einem Verlust an Bodenkohlenstoff und bildet also eine Quelle, die mit den landwirtschaftlichen Massnahmen nicht kompensiert werden kann, sondern nur durch die Senkenleistung des Waldes. Hielte die Bautätigkeit weiter in gleichem Masse an, wäre aller landwirtschaftlich nutzbare Boden ohne Alpweiden in 300 bis 400 Jahren überbaut. Nur in den Grünflächen des Siedlungsgebietes bliebe der Boden erhalten. Rund die Hälfte des Kohlenstoffs der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen ohne Alpweiden würde abgebaut werden, was zu einem Ausstoss von über 200 Mio. t Kohlenstoff führte. Die nachhaltige Nutzung unseres Lebensraumes ist also nicht nur zur Erhaltung unserer Nahrungsproduktion geboten, sondern auch aus Gründen des Klimaschutzes. Zur Erreichung der Ziele von Kyoto und Rio ist die Erhaltung der Landschaft zwingend, was nur mit einer entsprechenden Raumplanung möglich ist. Die Zerstörung von Böden durch die Nutzung als Bauland und die damit einhergehende C-Emission wird im KP z. Zt. nicht erfasst. Eigentlich müsste die Bodenzerstörung analog zur Rodung oder als Gegensatz zur Wiederbegrünung erfasst werden.

Der Einbezug von Senken und Quellen stärkt nicht nur die Ökologisierung der Landwirtschaft im speziellen und der Landschaftsplanung generell, sondern fördert ganz allgemein die nachhaltigere Nutzung unserer Umwelt und bewirkt, dass die Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen auch ausserhalb von Forst- und Landwirtschaft überdacht wird.

⁸⁰ Weil pfluglose Bewirtschaftung nicht bei allen Kulturen möglich ist (z. B. Kartoffeln), wird die Umsetzung dieser Massnahme nur für einen Teil der Ackerflächen sinnvoll sein.

⁸¹ FCCC/CP/2001/13/Add.1 p.59

6 PRO UND KONTRA EINES EINBEZUGS VON SENKEN

Es gilt zu beachten, dass die Frage eines Einbezugs von Senken im Rahmen des Kyoto-protokolls seit den Vereinbarungen von Bonn und Marrakesch nur noch beschränkt offen ist. Wie bereits erwähnt, müssen unter Art. 3.3 des KPs Senken und Quellen auf alle Fälle bilanziert werden. Lediglich für Aktivitäten unter Art. 3.4 wird dies, zumindest für den ersten Verpflichtungszeitraum, nicht der Fall sein. Nur hier hat die Schweiz die Wahl, Senken und Quellen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft getrennt oder zusammen nach dem KP abzurechnen. Die in Tabelle 13 aufgeführten Szenarien geben einen Überblick über die Wahlmöglichkeiten bezüglich der Anrechenbarkeit im ersten Verpflichtungszeitraum und die damit verbundenen möglichen Konsequenzen.

6.1 Argumente für den Einbezug von Senken

Für einen umfassenden Einbezug ("total accounting") der Senken aus klimapolitischer Sicht spricht, dass damit auch ökosystemare Quellen erfasst werden. Es sei daran erinnert, dass derartige Quellen global einen wichtigen Anteil (1.6 Gt C/a ~ 20%) der anthropogenen Belastung der Atmosphäre durch CO₂ (7.9 Gt C/a) ausmachen (s.a. Abbildung 2). Durch die periodische Erfassung der Kohlenstoffbilanz grosser Landflächen ergibt sich längerfristig ein Instrument, dank dem die menschlichen Einflüsse auf die Rolle der Ökosysteme im Klimasystem bewusst wahrgenommen werden. Die Steigerung oder zumindest die Erhaltung der Kohlenstoffspeicherung kann damit optimiert werden. Dabei geht es nicht nur um die anthropogenen Landnutzungsänderungen, sondern auch um Änderungen bei der Bewirtschaftung innerhalb gleichbleibender Landnutzung. Beispielsweise kann Ackerbau in einer Art betrieben werden, der entweder Kohlenstoff freisetzt (intensives Pflügen organischer Böden) oder aber bindet (pflugloser Ackerbau). Genau dies versucht das Kyoto-protokoll durch Schaffung einer Anreizstruktur zu bewirken: Erstens werden Landnutzungsänderungen wie Rodungen, die zu einem Kohlenstoffverlust im Boden führen in Form von Abzügen "bestraft" (Art. 3.3), dagegen solche, die zu einer Sequestrierung (Speicherung) führen, in Form handelbarer Zertifikate "belohnt" (Art. 3.3). Zweitens werden Änderungen in der Bewirtschaftungsform bei gleichbleibender Landnutzung, z. B. im Ackerbau (crop management), die zu einer Quelle führen, gleichermassen "bestraft", Senken "belohnt" (Art. 3.4). Die Schaffung einer derartigen Anreizstruktur ist zu begrüßen; sie steht zudem im Einklang mit den Zielen der Klimakonvention (z. B. UNFCCC Art. 4.1 (d)).

Für den Einbezug der Senken aus ökonomischer Sicht spricht weiter die angespannte Lage der Forstwirtschaft in Europa und der Schweiz im besonderen. Gerade in den letzten Jahren sind die Holzpreise massiv gesunken. Gemäss schweizerischem Waldwirtschaftsverband (WVS) betrug der durchschnittliche Verlust 195.– CHF/ha bzw. 22.– CHF pro m³ genutztem Holz. Für Nadelstammholz wurde nur noch ein Durchschnittserlös von 62.– CHF/m³ erreicht. Im Vergleich dazu konnte 1981 noch ein stolzer Maximalpreis von 150.– CHF/m³ erzielt werden. Es besteht die Hoffnung, dass die neue Aufgabe des Waldes als Kohlenstoffspeicher neue forstwirtschaftliche Impulse auslöst.

Senken, vor allem im Waldbereich, gelten grundsätzlich als günstiger Weg zur Generierung von Emissionsrechten. Sie sind deshalb bei vielen Ländern auf ein reges Interesse gestossen. Die Möglichkeit, v. a. wegen der geringen Kosten, umfassenden Gebrauch von Senken im Inwie im Ausland zu machen, ist von den meisten Ländern der Umbrellagruppe mit entsprechender Vehemenz gefordert worden. Unterschätzt oder sogar schlicht vergessen wird

dabei jedoch häufig, dass sowohl Erfassung wie auch Monitoring Kosten verursachen. Eine umfassende, wirtschaftliche und befriedigend genaue Beurteilung von Senken und Senkenprojekten, die im speziellen den verschiedenen Bedingungen der Praxis Rechnung trägt, fehlt bis heute.

6.2 Argumente gegen den Einbezug von Senken

Gegen einen Einbezug der Senken spricht, dass sie nur von beschränkter und vorübergehender Dauer sind, weil die Speicherkapazität aller Ökosysteme begrenzt ist (s.a. Abbildung 9). Zudem sind die Mengen, die zusätzlich in die Biosphäre eingebunden werden können, zu klein, um einen wirksamen Klimaschutz zu ermöglichen. Senken können also bestenfalls einen Teil der Lösung, aber keinesfalls die ganze Lösung darstellen.

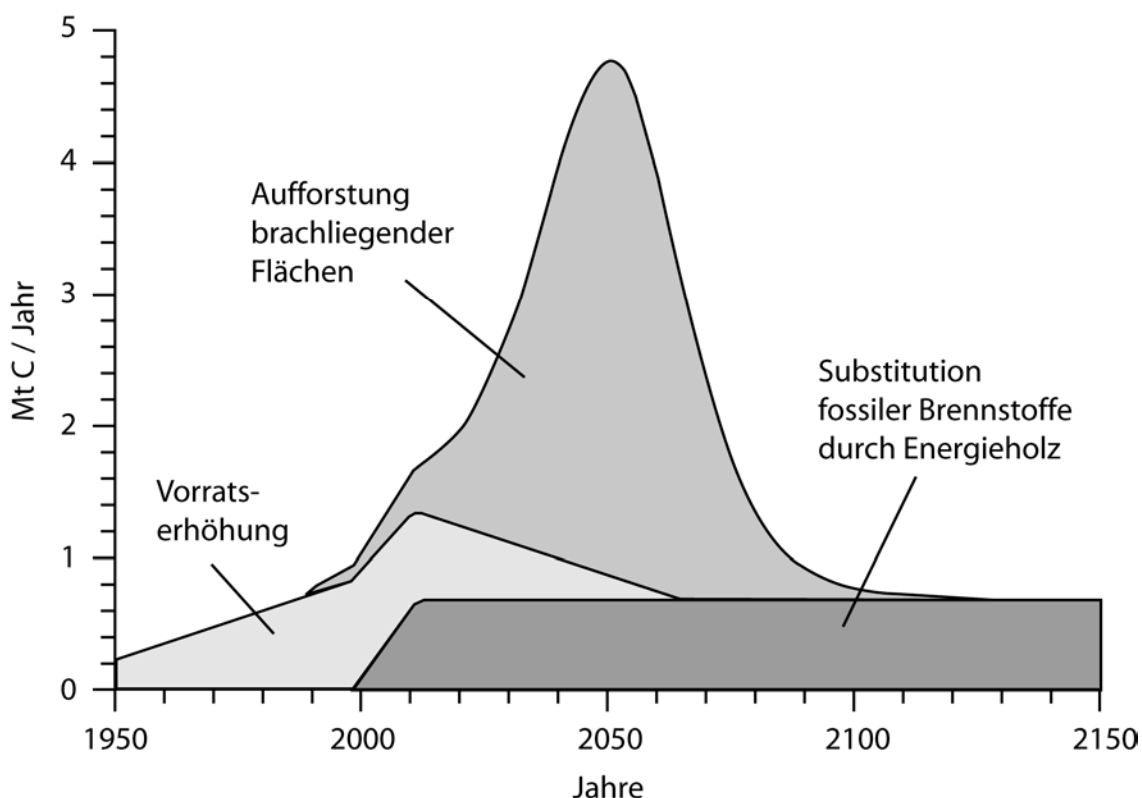


Abbildung 9: Jährliche C-Senkenleistung, die maximal durch die forstlichen Massnahmen Vorratserhöhung, Aufforstung brachliegender Flächen im Umfang von 2600 km² (Surber *et al.*, 1973) und Substitution fossiler Brennstoffe durch Energieholz in der Schweiz bis ins Jahr 2150 erreicht werden kann, nach Daten aus Fischlin & Bugmann (1994a). Der Beitrag durch Energieholznutzung und Aufforstungen fällt um die Mitte des 21. Jahrhunderts vorübergehend beträchtlich gross aus. Der Reduktionsbeitrag entspricht gemäss diesen Schätzungen um 2050 etwa einem Drittel der schweizerischen Gesamtemissionen an Treibhausgasen nach heutigem Stand (14.45 Mt C/a, Stand 2000). Danach spielt lediglich noch die zeitlich unbegrenzte Substitution von fossilen Brennstoffen durch nachhaltig genutztes Energieholz eine Rolle.

Der Einbezug von Senken könnte die eigentliche Einführung eines wirksamen Klimaschutzes verzögern, da dieser hauptsächlich versuchen sollte, die Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe zu reduzieren. Wie die oben ausgeführten Überlegungen zeigen, ist die Gefahr gross, dass mit dem Einbezug der Senken das Problem der Emissionsreduktion nicht rechtzeitig angegangen wird, da dessen Lösung lediglich hinausgezögert und dadurch in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts noch zusätzlich erschwert werden könnte.

Es ist auch fraglich, inwiefern durch die Anrechnung von Senken in der nördlichen Hemisphäre nicht ohnehin schon bestehende, "natürliche" Senkenleistungen als menschlicher Verdienst betrachtet werden. Diese "Geschenke der Natur" haben uns schon in der Vergangenheit geholfen, die Belastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen zu bremsen. Das zumindest legt die Diskussion um den "missing sink" nahe, der die Wissenschaft schon seit Jahrzehnten beschäftigt (z. B. Schindler, 1999).

Im Falle der Schweiz spricht gegen einen Einbezug der Senken auch die Tatsache, dass das CO₂-Gesetz, als wichtigstes Instrument zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen nach KP, keine Anrechnung inländischer Senken vorsieht. Lediglich im Rahmen von CDM- oder JI-Projekten könnten sich schweizerische Akteure im Rahmen des CO₂-Gesetzes Senkenkredite anrechnen lassen. Nähme man die Anrechnung der Senken ins CO₂-Gesetz auf, bestünde die Gefahr, dass dieses klimapolitisch wichtige Instrument, um das innenpolitisch so zäh gerungen worden ist, verwässert würde.

Die Speicherung grösserer Mengen an Kohlenstoff in Ökosystemen stellt auch ein nicht unerhebliches Risiko dar. Sollte z. B. infolge eines veränderten Klimas die Speicherkapazität der Ökosysteme sinken, so ist damit zu rechnen, dass früher oder später aller zusätzlich gespeicherte Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre gelangt und so eine Klimaänderung zusätzlich beschleunigt (Cox *et al.*, 2000). Im Falle der Schweiz ist besonders zu beachten, dass der stehende Holzvorrat pro Fläche (362 m³/ha) im europäischen Vergleich ausserordentlich hoch ist, wie auch die darin gespeicherte Kohlenstoffmenge.

Gegen einen Miteinbezug der Senken spricht ebenfalls, dass ein beträchtlicher Aufwand geleistet werden muss, um die Senkenwirkung zu erfassen und quantitativ abzuschätzen. Dieser Aufwand fällt besonders stark ins Gewicht wenn man sich hier v. a. auf die herkömmlichen terrestrischen Verfahren, wie z. B. das Landesforstinventar, abstützen muss. Alternativen wie Verfahren, die vollständig oder teilweise auf Fernerkundung, insbesondere Satellitendaten, aufbauen, sind noch nicht praxisreif und bedürfen noch grösserer Forschungsanstrengungen.

Ferner gilt es auch zu bedenken, dass die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern, Wiesen, Weiden und Äckern nur eine der vielen Funktionen darstellt, welche die Gesellschaft von diesen Ökosystemen erwartet. Zielkonflikte zwischen verschiedenen Funktionen sind daher zu erwarten, so z. B. mit dem Biodiversitätsschutz und dem Schutzwald, aber auch innerhalb der C-haushaltrelevanten Funktionen Senke und Holzproduktion (Fischlin, 1996):

- Die Verwendung von Holz als Baustoff und Werkmaterial hat einen signifikanten und günstigen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen. Zudem ist interessant festzuhalten, dass dieser Substitutionseffekt, z. B. Holz vs. Beton, aus Klimaschutzsicht weit stärker ins Gewicht fällt als die hiermit verknüpfte Erhöhung der Kohlenstoffvorräte in langlebigen Holzprodukten (Watson & Core Writing Team, 2001). Entscheidend ist die Vermeidung der Emissionen, die bei den herkömmlichen Herstellungs- und Verwertungsverfahren ohne Holz anfallen würden.
- Die Verwendung von Energieholz ist auch eine nachhaltig nutzbare Energieform, die den Verbrauch an fossilen Brennstoffen zeitlich unbegrenzt reduzieren kann. Eine intensive Energieholzproduktion lässt sich innerhalb des gleichen Waldes kaum mit einem hohen Kohlenstoffvorrat vereinbaren. Im Unterschied zur bloss vorübergehenden Senkenleistung ist der Substitutionseffekt auf die Treibhausgasbilanz durch Energieholz jedoch nachhaltig positiv (s. Abbildung 9).

Mittelfristig wäre denkbar, dass der Schweizer Wald in Zukunft durch vermehrte Entflechtung der Funktionen stärker gegliedert wird. Es könnte eine sinnvolle

Aufgabenteilung angestrebt werden, bei der bestimmte Waldfunktionen je nach Region im Vordergrund stehen und so der Erfüllung bestimmter Zwecke diene: z. B. im Gebirge Schutzwald, im Mittelland Holzproduktion zwecks Energieholz- (Niederwald, Mittelwald) oder Bauholzgewinnung (Hochwald) getrennt von Senkenwald und Naturreservatswald ("Schutzgebiete"). Obwohl eine derartige Entflechtung möglicherweise zu neuen Zielkonflikten führen könnte (nicht alle Nutzansprüche sind überall einlösbar), dürfte sie wesentlich zur Entschärfung der heutigen Zielkonflikte beitragen und insbesondere zu einer ökonomischen Verbesserung der schweizerischen Forstwirtschaft führen.

6.3 Szenarien

Nachfolgend werden für die verschiedenen Szenarien, die sich der Schweiz konkret bieten, Vor- und Nachteile im Einzelnen tabellarisch aufgeführt (Tabelle 13). Szenario A beschreibt die Folgen der unter Art. 3.3 ohnehin vorgeschriebenen Anrechnung. Die Wahlmöglichkeiten der Schweiz unter Art. 3.4 in der ersten Verpflichtungsperiode (2008 – 2012) stellen die übrigen Szenarien dar: Szenario A.1 veranschaulicht die Folgen bei einem Verzicht auf Anrechnung, A.2.1 erläutert sie unter dem Aspekt der Anrechnung nur im Bereich der Forstwirtschaft, A.2.2 nur im Bereich der Landwirtschaft und Szenario A.2.3 berücksichtigt die Anrechnung beider Bereiche (Forst- und Landwirtschaft).

Wichtige Punkte bei der Beurteilung der Szenarien sind:

- Auswirkungen eines Alleingangs der Schweiz vs. Abstimmung mit dem Vorgehen der EU
- Abwägen der Probleme bei der Umsetzung (wirtschaftlich, administrativ, rechtlich)
- Beurteilung der wirtschaftlichen Bedeutung von Senken in der Praxis (praxisgerechte Kosten-Nutzenanalyse)
- Welche gesetzlichen Grundlagen oder Lenkungsmaßnahmen sind erforderlich, welche allenfalls bloss wünschbar?

Tabelle 13: Szenarien der Anrechnung von Senken, ihre Eigenschaften und Auswirkungen

Szenario	Politischer Grundsatzenscheid	Innenpolitische Umsetzung	Eigenschaften	Auswirkungen auf Klima-, Forst- und Landwirtschaftspolitik	Beurteilung
A	Ratifizierung mit zwingender Anrechnung unter Art. 3.3	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Interpretationsspielraum bei einwachsenden Flächen ("human-induced promotion of natural seed sources") ist vorhanden. • Die Wahl der Walddefinition ist zu treffen. • Die Wahl der Datengrundlage für Berechnung (LFI, Arealstatistik, neue aufzubauen) muss durchgeführt werden. • Zusätzliche Lenkungsinstrumente für Rodungen und Aufforstung müssen definiert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Interpretation bzw. Ausnutzung des Spielraumes der Marrakesh Accords könnten Aktivitäten unter Art. 3.3 als Quelle oder als Senke resultieren. • Aufforstungen und eingewachsene Flächen sind im Berggebiet länger als 200 Jahre als Senken wirksam. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sofern die Walddefinition nach KP und das Waldgesetz nicht identisch sind, entstehen in einzelnen Fällen Abgrenzungsprobleme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Beitrag für die Jahre 2008 – 12 ist wahrscheinlich gering, aber es besteht ein langfristiges Potential bei starker Förderung von Aufforstungen.
A1	Keine Anrechnung unter Art. 3.4	<ul style="list-style-type: none"> • Falls unter Art. 3.3 eine geringe Quelle besteht, könnte das zu einem politischen Bedarf führen, einen Ausgleich unter Art. 3.4 zu schaffen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzungsfragen bezüglich Art. 3.4 werden auf spätere Verpflichtungszeiträume vertagt (Zeitgewinn). • Art 3.3. bleibt in Kraft. Dieses Szenario führt zu einer nur geringen Berücksichtigung der Senken. Emissionsreduktionen sind entsprechend wichtig. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die übrigen Bereiche der Klimapolitik (ausserhalb der Senkenproblematik) werden durch dieses Szenario nur wenig beeinflusst, obwohl der Verzicht bedeutet, dass bei Nichterreicherung der Ziele des CO₂-Gesetzes die Senken nicht zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen nach Kyoto-Protokoll beitragen können. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1. Verpflichtungszeitraum unterscheidet sich vermutlich von den folgenden. • Der Aufwand für forstliche Belange (Art. 3.3) ist relativ gross bei praktisch keinem Nutzen.

Szenario	Politischer Grundsatzentscheid	Innenpolitische Umsetzung	Eigenschaften	Auswirkungen auf Klima-, Forst- und Landwirtschaftspolitik	Beurteilung
				<ul style="list-style-type: none"> • Eine erhöhte Holznutzung ist kein Nachteil, weil eine Reduktion des Vorrates nicht angerechnet werden muss. Aus klimapolitischer Sicht problematisch, da CO₂-Neutralität bei Energieholznutzung ohne Überprüfung angenommen wird. 	<ul style="list-style-type: none"> • Glaubwürdigkeit der schweizerischen Haltung ist gefährdet, wenn der Vorrat zur Energieholznutzung massiv gesenkt wird.
A.2.1	Anrechnung von "Forest management" unter Art. 3.4	<ul style="list-style-type: none"> • Die Kriterien für "human-induced" und "since 1990" müssen national festgelegt werden. • Administrative und rechtliche Modalitäten müssen bestimmt werden. • Neue Lenkungsinstrumente und Regelungen zur Handhabung der finanziellen Aspekte (RMU-Handel, Abgeltung vs. Subventionen, Permanenz- und Haftungsfragen) der forstlichen Massnahmen sind notwendig. • Zusätzlicher politischer Druck zur Modifikation des CO₂-Gesetzes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Ausnutzung des Interpretationsspielraumes kann u. U. kann die maximal mögliche Menge von 0.5 Mt C a⁻¹ angerechnet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine (z. Z. unerwünschte) Erhöhung des Vorrates verlangt längerfristig eine gezielte Bewirtschaftung dieses Vorrates und führt damit zu einer Änderung der Bewirtschaftung des Waldes. • Abgeltung für gemeinwirtschaftliche Leistungen (Kohlenstoffspeicherung) sind zu diskutieren. • Gibt es in Zukunft zwei verschiedene Arten Wald: Kyoto- und Nicht-Kyotowald? 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachhaltige Bewirtschaftung zur Steuerung des Vorrates bzw. zur möglichst langen Aufrechterhaltung der Senkenwirkung wird wichtig. • Führt zum Überdenken der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen auch ausserhalb des Waldes.

Szenario	Politischer Grundsatzentscheid	Innenpolitische Umsetzung	Eigenschaften	Auswirkungen auf Klima-, Forst- und Landwirtschaftspolitik	Beurteilung
A.2.2	Anrechnung von "Cropland and grazing land management" unter Art. 3.4	<ul style="list-style-type: none"> Die aktuelle Agrarpolitik (Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft) führt voraussichtlich zu einer tendenziellen Erhöhung der C-Vorräte in den Böden, was die Bodenfruchtbarkeit erhöhen dürfte. Existierende Lenkungs- u. Subventionsinstrumente müssen an die neuen, klimapolitischen Anforderungen angepasst werden. 	<ul style="list-style-type: none"> Z. Z. liegt vermutlich eine schwache C-Zunahme in mineralischen Böden und eine C-Abnahme in organischen Böden vor (unsichere Datenlage). Bodenerstörung durch Baulandnutzung wird nicht angerechnet. 	<ul style="list-style-type: none"> Dieses Szenario könnte bei geeigneter Umsetzung Anreize für die Landwirtschaft geben. Einbezug der Senkenbildung stärkt bei den meisten Massnahmen die Ökologisierung der Landwirtschaft. Druck zur Anerkennung auch der Forstwirtschaft unter Art. 3.4 Innerhalb der Landwirtschaft ergeben sich neue Randbedingungen für die Wahl der Anbauformen und –methoden (Umgestaltung der Voraussetzungen für Direktzahlungen). 	<ul style="list-style-type: none"> Eine nachhaltige Bewirtschaftung zur Erhaltung der Senken wird Teil der Landwirtschaftspolitik.
A.2.3	Anrechnung von "Forest, cropland and grazing land management" unter Art. 3.4	<ul style="list-style-type: none"> Siehe A.2.1 und A.2.2 	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzungsfragen müssen bereits in der 1. Verpflichtungsperiode gelöst werden. 	<ul style="list-style-type: none"> Siehe A.2.1 und A.2.2 Die Klimapolitik wird tendenziell ganzheitlicher. Erwartet werden zusätzliche Zielkonflikte unter den Quellbereichen. Subventionen für Wald und Landwirtschaft werden stärker verknüpft. Da die Landwirtschaft eine Quelle darstellt, dürfte der Druck auf sie steigen, Wald einwachsen zu lassen (Ruf nach Kompensation). 	<ul style="list-style-type: none"> Siehe A.2.1 und A.2.2 Eine nachhaltige Bewirtschaftung zur Erhaltung der Senken wird Teil der Land- und Forstpolitik

7 ERFORDERLICHE GRUNDLAGEN UND LÜCKEN

7.1 Datenbedarf

Es zeigt sich, dass die Datengrundlagen, wie sie zurzeit in der Schweiz zur Verfügung stehen, den Anforderungen des Kyoto-Protokolls nicht zu genügen vermögen. Dies gilt insbesondere für das Landesforstinventar wie auch für die Arealstatistik, um die zwei wesentlichsten Datenquellen von nationaler Bedeutung zu nennen.

Die Schwäche des Landesforstinventars liegt darin, dass es Wald vornehmlich aus der Warte und zum Nutzen der Forstwirtschaft erfasst und damit in den Grenzbereichen, insbesondere bei den Landnutzungsänderungen, zu ungenau ist. Sie können im Rahmen des Kyoto-Protokolls nicht mehr toleriert werden. Die konventionelle Ausrichtung auf die Schätzung des Holzvolumens ist für eine umfassende Kohlenstoffbilanz eines Waldökosystems ebenfalls ungenügend. Andere Kompartimente, z. B. der Boden oder das Totholz, müssen in Zukunft mit der gleichen Aufmerksamkeit erfasst werden, wie dies bislang beim Derbholz der Fall war. Es erscheint angebracht, eingehend zu prüfen, inwiefern das Landesforstinventar im Hinblick auf das Kyoto-Protokoll verbessert und unter diesem Gesichtspunkt neu optimiert werden kann.

Die Arealstatistik erscheint, im Unterschied zum bisherigen Landesforstinventar, am ehesten geeignet, um in Zukunft Transitionen zwischen Landnutzungsänderungen abzuschätzen. Dem steht die Tatsache entgegen, dass sie zu wenig Angaben enthält, um den Kohlenstoffgehalt einer Erfassungseinheit verlässlich abschätzen zu können. Für die zwei folgenden Bereiche, in denen Landnutzungsänderungen stattfinden, ist die Erhebung neuer oder zusätzlicher Daten besonders dringend:

- Bodenkarten mit Angabe des C-Gehaltes in den verschiedenen Bodenhorizonten, um zuverlässig die Flächen landwirtschaftlich genutzter, insbesondere organischer Böden, schätzen zu können
- Erfassung des Kohlenstoffgehaltes der Vegetation und des Bodens in allen Flächen, die einer Nutzungsänderung unterworfen sind. Hierzu gehören die bewilligten Rodungen von Waldflächen (Rodungsstatistik), Aufforstungen bzw. Wiederaufforstungen und die Bebauung vormals landwirtschaftlich genutzter Flächen. Es sind auch Angaben zum Zeitpunkt der Nutzungsänderung, sowie das allfällige Vorhandensein menschlicher Einwirkungen zu erfassen.
- Abschätzung der Flüsse und Speicher für das Basisjahr 1990 im ganzen Landwirtschaftssector, um das "Net-Net-Accounting" zu ermöglichen.

Um den Anforderungen zu genügen, die sich unter dem Kyoto-Protokoll im Senkenbereich ergeben, ergibt sich für die Schweiz in zweierlei Hinsicht Datenbedarf, wie sich zusammenfassend feststellen lässt: Erstens müssen bestehende Erhebungen und Beobachtungen (Landesforstinventar, Arealstatistik, Forststatistik) gezielt ergänzt werden, um den Kohlenstoffgehalt zu ermitteln. Zweitens scheint es erforderlich, neue Datenerhebungen einzuführen, z. B. Kyotobeprobungen, die der Schätzung des Kohlenstoffgehalts in Böden (Land- und Forstwirtschaft) dienen sowie eine integrierte Erfassung aller Landnutzungsänderungen auf gesamtschweizerischer Ebene, indem beispielsweise bestehende Erhebungen zusammengeführt und allenfalls durch neue Fernerkundungsverfahren ergänzt werden.

7.2 Forschungsbedarf

Die quantitative Abschätzung ökosystemarer Senkenleistungen auf im Vergleich zur globalen Skala relativ kleinem Raum ist ein neuer Gesichtspunkt. Aus diesem Grund sind Know-how, Techniken und Messmethoden noch unbefriedigend, um in der Praxis ökonomisch, effizient und genügend genau die erforderlichen Abschätzungen durchführen zu können. Das Kyoto-Protokoll hat in diesem Zusammenhang in einem wichtigen Punkt Klarheit geschaffen: Ökosystemare Senken und Quellen der kohlenstoffhaltigen Treibhausgase, d.h. CO₂ und CH₄, sind aus Differenzen im Kohlenstoffvorrat der Ökosysteme zu schätzen. Nicht Flussmessungen sondern Vorratsschätzungen sollten deshalb im Vordergrund stehen. Das gilt allerdings nicht für das dritte Gas, d.h. N₂O, dessen Austauschflüsse direkt geschätzt werden müssen.

Es liegt auf der Hand, dass existierende Daten und vorhandenes Wissen eingesetzt werden, um die geforderten Schätzungen durchführen zu können. Hierbei wird immer wieder an die Forschung im Bereich der Wald- und Holzwirtschaft angeknüpft. Das ist einerseits begrüßenswert, andererseits aber auch problematisch, da dieser Bereich traditionell auf die Holzproduktion ausgerichtet ist und Methoden zur Bestimmung des Kohlenstoffhaushaltes von Ökosystemen noch nicht operationell verfügbar sind. Deshalb ist in diesen Forschungsbereichen oft nur eine Teilsicht dargestellt, die einem vollständigen "Erfassen" ökosystemarer Kohlenstoffvorräte unter gewissen Umständen sogar im Wege stehen kann.

Aufbauend auf den traditionellen Bereichen der Wald- und Holzwirtschaft, müssen also umfassende Analysen des Kohlenstoffhaushaltes ganzer Ökosysteme durchgeführt werden. Dies gilt auch für die Landwirtschaft, wobei hier die Anknüpfung an bestehende Forschungsbereiche vermutlich schwieriger ist. Die Erfassung der C-Vorräte spielt in der Landwirtschaft eine geringere Rolle als in der Forstwirtschaft, denn die C-Vorräte befinden sich vor allem im Boden und die Probleme sind vielfältiger (verschiedene Treibhausgase, Tiere und Pflanzen). Im Einzelnen ergeben sich folgende Forschungsbereiche, die mit Vorrang und in national spezifischer Art angegangen werden sollten:

- Klassifizierung forst- und landwirtschaftlicher Ökosysteme im Hinblick auf ihren Kohlenstoffhaushalt (Grundlage z. B. für "stratified sampling")
- Zusammenhang zwischen Vorrat des stehenden Holzes und Kohlenstoffgehalt ober- und unterirdischer Pflanzenmassen verschiedener Waldökosysteme ("Expansionsfaktorenforschung")
- Kohlenstoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter organischer Böden
- Kohlenstoffhaushalt von Feuchtgebieten (CH₄, CO₂) in Schutzgebieten wie auch in Meliorationsgebieten
- Kohlenstoffhaushalt in urbanen Zonen, insbesondere Humusverfrachtungen bei Bauten aller Art, inklusive Strassenbau und sonstigen, grossflächigen Bodenstörungen durch Überbauungen.
- N₂O Haushalt von Agroökosystemen (Ökophysiologie, Modellierung)
- Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes von Ökosystemen unter lokal- spezifischen Bedingungen und verschiedenen Bewirtschaftungsformen (Wald, Acker- und Grünland, Stadt)
- Entwicklung von Methoden und Routineverfahren zur kostengünstigen und flächendeckenden Erhebung von Landnutzungsänderungen und allfällig damit verknüpften Änderungen im Kohlenstoffhaushalt (Fernerkundung (Satelliten, Luftbilder), GIS, ergänzt durch stratified sampling Erhebungen am Boden und mit- bzw. nachgeführten Modellrechnungen)

Andere Autoren kommen zu ähnlichen Forschungsempfehlungen (s. z. B. Brown, 2002).

Es gilt aber zu beachten, dass neben den erwähnten Bereichen eine Reihe von Forschungszweigen ebenfalls eine wichtige Rolle gespielt hat oder noch spielt. Allerdings sind diese Forschungen meist auf andere Skalen ausgerichtet. Hierzu gehören z. B. folgende Forschungszweige:

- Untersuchung des Kohlenstoffkreislaufs auf globaler Skala (s. z. B. Abbildung 2) mittels Modellierung (AOGCM) (z. B. Kaminski & Heimann, 2001; Gurney *et al.*, 2002) und Synthese globaler Datenbanken (z. B. Houghton, 2001) und weiterer Synthesearbeiten (z. B. Watson *et al.*, 2000)
- Ökophysiologische Messungen mittels "Fluxtower" (z. B. Yamamoto *et al.*, 1999) oder anderen experimentellen Anordnungen (z. B. Körner, 2000; Brunold *et al.*, 2001)
- Untersuchung von Störungsregimes, die durch abiotische Störungen (Lawinen, Murgänge, Überschwemmungen, Steinschlag, Feuer) verursacht werden oder biotischen Ursprungs sind (Insektenbefall, Krankheiten, Äsungsdruck)
- Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes von Ökosystemen auf globaler (z. B. Kicklighter *et al.*, 1999) oder ökosystemarer Skala (z. B. Perruchoud *et al.*, 1999; Schimel *et al.*, 2000) möglicherweise verbunden mit langfristig gepflegten Datensätzen (z. B. Kurz & Apps, 1999)

Der zuletzt genannte Forschungszweig, falls auf ökosystemarer Skala ausgerichtet, ist am ehesten geeignet, auf nationaler Ebene den im Kyoto-Protokoll formulierten Bedürfnissen entgegenzukommen. Dagegen gelangen die meisten der übrigen angeführten Forschungszweige zu Resultaten, die einander um Grössenordnungen widersprechen (vgl. z. B. Yamamoto *et al.*, 1999; vs. Watson *et al.*, 2000). Eine der ganz grossen Herausforderungen für die Forschung ist es demnach, die Ursachen dieser Widersprüchlichkeiten genau aufzudecken und vor allem zu quantifizieren. Nur so kann eine Grundlage für verlässlichere und insbesondere vertrauenswürdige quantitative Abschätzungen ökosystemarer Kohlenstoffbilanzen geschaffen werden (z. B. Randerson *et al.*, 2002). Derartige Forschungsvorhaben sind besonderen Schwierigkeiten ausgesetzt, da es hierbei um eine "Syntheseforschung" geht, die über die disziplinären Grenzen hinweg eine Integration zustande bringen muss. Die Schwierigkeiten gründen z. B. schon alleine darin, dass mit inkompatiblen Skalen (räumlich und zeitlich) gearbeitet wird (z. B. minutenschnelle, sich auf räumlicher Skala der pflanzlichen Zelle abspielende physiologische Reaktionen vs. seltene, grossflächig auftretende Störungen). Es gilt zu vermeiden, dass ein bestimmter Forschungszweig, z. B. die ökophysiologische Forschung, einseitig gefördert wird, wie das z. B. grösstenteils im Rahmen des EU-Grossprojektes CARBOEUROPE geschehen ist. Um wirklich integrierte Resultate zu erzielen, ist aus diesen Gründen eine Zusammenführung der erwähnten Forschungszweige angezeigt und bisher vernachlässigte Forschungszweige, wie moderne Verfahren zur Erfassung von C-Vorratsänderungen samt zugehörigen Modellierungen, wären entsprechend zu fördern.

8 LITERATUR

- Anonymous, 1980. *Bodeneignungskarte der Schweiz*. Bundesamt für Raumplanung, Bern.
- Anonymous, 1983 (3 ed.). *Ertragstabeln Buche*. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen: Birmensdorf, Switzerland, 42 pp.
- Anonymous, 2000. *Wald und Holz - Jahrbuch 2000*. Bundesamt für Statistik (BFS)/ Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Neuenburg, 169 pp.
- Anonymous, 2002. *Umwelt Schweiz 2002 Band 1: Politik und Perspektiven*. BUWAL, Bern, 330 pp.
- Baritz, R. & Strich, S., 2000. Forests and the national greenhouse gas inventory of Germany. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.*, **4**(4): 267-271.
- Bonneau, M., 1995. *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés*. ENGREF: Nancy, 367 pp.
- Brang, P., 1998. *Zustand und Gefährdung des Schweizer Waldes - eine Zwischenbilanz nach 15 Jahren Waldforschung*. Sanasilva-Bericht 1997 345, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 102 pp.
- Brassel, P. & Brändli, U.B., 1999. *Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995*. Verlag Paul Haupt, Bern, 442 pp.
- Brown, S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Env. Poll.*, **116**: 363-372.
- Brunold, C., Balsiger, P.W., Bucher, J.B. & Körner, C. (eds.), 2001. *Wald und CO₂ - Ergebnisse eines ökologischen Modellversuches*. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 224 pp.
- Bugmann, H., 1997. Sensitivity of forests in the European Alps to future climatic change. *Clim. Res.*, **8**(1): 35-44.
- Bugmann, H., 2000. The Swiss carbon balance: methods, state of reporting and research perspectives. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.*, **4**(4): 263-266.
- Bugmann, H. & Pfister, C., 2000. Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition. *Regional environmental change*, **1**: 112-125.
- Bürgi, A. & Brang, P., 2001. Wie kann sich der Waldbau anpassen? *Wald und Holz*, **3**(01): 43-46.
- Burschel, P., Kürsten, E. & Larson, B.C., 1993. *Die Rolle von Wald- und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt - eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland*. Forstlicher Forschungsbericht 126, Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung der Ludwig-Maximilians-Universität, München, 135 pp.
- Cox, P.M., Betts, R.A., Jones, C.D., Spall, S.A. & Totterdell, I.J., 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, **408**(9.Nov.): 184-187.
- EAFV, 1988. *Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986*, Vol. 305. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes.: Birmensdorf, 375 pp.
- Egli, P., Spinnler, D., Hagedorn, F., Maurer, S., Siegwolf, R., Landolt, W., Clark, A., Strasser, R. & Körner, C., 2001. *Kohlenstoffflüsse und Biomasseproduktion*. In: Brunold, C. (ed.), *Wald und CO₂*. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, pp. 97-116.
- Englisch, M., Weiss, P., Hacker, R. & Mutsch, F., 2001. Bodeninformation und das Kyoto-Protokoll: Der Waldboden als Kohlenstoffsink - Hypothesen und Möglichkeiten der konkreten Messung. *Mitt. DGB*, **96**(2): 493-494.
- Fischlin, A., 1996. Conflicting objectives while maximizing carbon sequestration by forests. *NATO ASI Series*, **I-40**(452): 163-172.
- Fischlin, A. & Bugmann, H.K., 1994a. Können forstliche Massnahmen einen Beitrag zur Verminderung der CO₂-Emissionen leisten? Ökologische Grundlagen und erste Abschätzungen. *Schweiz. Z. Forstwes.*, **145**: 275-292.
- Fischlin, A. & Bugmann, H.K., 1994b. *Think globally, act locally! A small country case study in reducing net CO₂ emissions by carbon fixation policies*. In: Kanninen, M. (ed.), *Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment*. The environmental defense fund, Helsinki, Finland, pp. 256-266.

- Fischlin, A. & Gyalistras, D., 1997. Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, **6**: 19-37.
- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T. & Hunt, C., 1975. *Chemical cycles and the global environment - assessing human influences*. Kaufmann: Los Altos, Cal., 206 pp.
- Gitay, H., Brown, S., Easterling, W. & Jallow, B., 2001. *Ecosystems and their goods and services*. In: McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. & White, K.S. (eds.), *Climate Change 2001 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., pp. 237-342.
- Grünig, A., 1994. *Mires and man - mire conservation in a densely populated country - the swiss experience*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL/FNP): Birmensdorf, 415 pp.
- Gurney, K.R. *et al.*, 2002. Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. *Nature*, **415**(7.Feb.): 626-630.
- Herrmann, T., Schröter, H., Kändler, G. & Wilpert, K., 2001. *Waldzustandsbericht 2001 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Baden-Württemberg.
- Holenstein, B., 1994. *Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald*. Schriftenreihe Umwelt 218, BUWAL (Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft), Bern, Switzerland, 44 pp.
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (eds.), 1996. *Climate change 1995 - The science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., 572 pp.
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Griggs, D.J. & Maskell, K., 1997. Stabilization of atmospheric greenhouse gases: physical, biological and socio-economic implications. 572.
- Houghton, R.A., 2001. Counting terrestrial sources and sinks of carbon. *Clim. Change*, **48**: 525-534.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997. *Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC GPG Hadley Center, London, 130 pp.
- Kaminski, T. & Heimann, M., 2001. Inverse modeling of atmospheric carbon dioxide fluxes. *Science*, **294**(12.Oct.): 259a.
- Kauppi, P.E., Mielikäinen, K. & Kuusela, K., 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. *Science*, **256**: 70-74.
- Keeling, C.D. & Whorf, T.P., 2002. *Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network*. In: Anonymous (ed.), *A compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge.
- Kicklighter, D.W. *et al.*, 1999. A first-order analysis of the potential role of CO₂ fertilization to affect the global carbon budget: A comparison of four terrestrial biosphere models. *Tellus B*, **51B**(2): 343-366.
- Kirschbaum, M. & Fischlin, A., 1996. *Climate change impacts on forests*. In: Watson, R., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. (eds.), *Climate change 1995 - Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., pp. 95-129.
- Körner, C., 1995. Towards a better experimental basis for upscaling plant responses to elevated CO₂ and climate warming. *Plant Cell Environ.*, **18**: 1101-1110.
- Körner, C., 1999. Biologische Folgen der CO₂-Erhöhung. *Biol. in unserer Zeit*, **29**(6): 353-363.
- Körner, C., 2000. Biosphere responses to CO₂ enrichment. *Ecol. Applications*, **10**(6): 1590-1619.
- Korpel, S., 1995. *Die Urwälder der Westkarpaten*. Fischer Verlag: Stuttgart, 310 pp.
- Kurz, W.A. & Apps, M.J., 1999. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian Forest Sector. *Ecol. Appl.*, **9**(2): 526-547.
- Leibundgut, H., 1982. *Europäische Urwälder der Bergstufe - dargestellt fuer Forstleute, Naturwissenschaftler und Freunde des Waldes*. Paul Haupt: Bern & Stuttgart, 308 pp.
- Leifeld, J., Bassin, S. & Fuhrer, J., 2002. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. in prep.

- Lloyd, J. & Taylor, J.A., 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional ecol.*, **8**: 315-323.
- Lüscher, P., Rigling, A. & Zimmermann, S., 1994. Waldstandsinventur 1993. Bodenkundliche Erhebungen. *Bull. BGS*(18): 69-76.
- Metz, B. (ed.) 2001. *Climate change 2001 - Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., 752 pp.
- Nakicenovic, N. *et al.*, 2000. *Emissions scenarios*. Cambridge University Press: Cambridge, 509 pp.
- Oberthür, S. & Ott, H.E., 2000. *Das Kyoto-Protokoll - Internationale Klimapolitik für das 21. Jahrhundert*. Leske & Budrich: Opladen.
- Paulsen, J., 1995. *Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz*. Rüegger: Chur, Zürich, 136 pp.
- Perruchoud, D., 1996. *Modeling the dynamics of nonliving organic carbon in a changing climate: a case study for temperate forests*. Diss. ETH No. 11900, Swiss Federal Institute of Technology: Zürich, Switzerland, pp. 213.
- Perruchoud, D. & Fischlin, A., 1995. The response of the carbon cycle in undisturbed forest ecosystems to climate change: A review of plant-soil models. *J. Biogeogr.*, **22**: 759-774.
- Perruchoud, D., Joos, F., Fischlin, A., Hajdas, I. & Bonani, G., 1999. Evaluating time scales of carbon turnover in temperate forest soils with radiocarbon data. *Global Biogeochem. Cycles*, **13**(2): 555-573.
- Perruchoud, D., Kienast, F., Kaufmann, E. & Bräker, O.U., 1998. 20th century carbon budget of forest soils in the Alps. *Ecosystems*, **2**: 320-337.
- Perruchoud, D., Walthert, L., Zimmermann, S. & Lüscher, P., 2000. Contemporary carbon stocks of mineral forest soil in the Swiss alps. *Biogeochemistry*, **50**: 111-136.
- Presler, J. & Gysi, C., 1989. *Organische Böden des schweizerischen Mittellandes*. Bericht des Nationalen Forschungsprogrammes "Boden", Liebefeld-Bern.
- Randerson, J.T., Chapin III, F.S., Harden, J.W., Neff, J.C. & Harmon, M.E., 2002. Net ecosystem production: a comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems. **12**(4): 937-947.
- Schimel, D. *et al.*, 2000. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science*, **287**(17.Mar.): 2004-2006.
- Schimel, D.S., 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biol.*, **1**: 77-91.
- Schindler, D.W., 1999. The mysterious missing sink. *Nature*, **11**(march): 106-107.
- Schmidt-Vogt, H., 1991. Die Fichte. Waldbau - Ökosysteme - Urwald - Wirtschaftswald - Ernährung - Düngung - Ausblick. **II/3**: 781.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. & Smith, J.U., 1998. Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biol.*, **4**: 679-685.
- Surber, E., Amiet, R. & Kobert, H., 1973. Das Brachlandproblem in der Schweiz. *Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes., Mitt.*, **112**: 1-140.
- Tans, P.P., Fung, I.Y. & Takahashi, T., 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, **247**: 1431-1438.
- Watson, R.T., 2001. *Climate change 2001 - synthesis report*. Synthesis report IPCC, Geneva, 202 pp.
- Watson, R.T. & Core Writing Team, T. (eds.), 2001. *Climate change 2001: Synthesis report - An Assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., 35-145(397) pp.
- Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. & Dokken, D.J. (eds.), 2000. *Land use, land-use change, and forestry - A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, 377 pp.
- Weiss, R. & Schlamadinger, B., 2000. Research activities related to the role of forests and forestry in climate change mitigation in Austria. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.*, **4**(4): 252-258.
- Yamamoto, S., Murayama, S., Saigusa, N. & Kondo, H., 1999. Seasonal and inter-annual variation of CO₂ flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan. *Tellus B*, **51**: 402-413.

9 ANHANG

9.1 Global Warming Potential

Im Zusammenhang mit Senken gelten für einzig wichtigen THG CH₄ und N₂O folgende Umrechnungsfaktoren: CH₄-Mengen werden mit dem Faktor 21 (Houghton *et al.*, 1996) bzw. 23 (Watson, 2001) und N₂O-Mengen mit einem von 310 (Houghton *et al.*, 1996) bzw. 296 (Watson, 2001) auf CO₂-Äquivalente umgerechnet. Diese Faktoren stützen sich laut 2/CP.3 (FCCC/CP/1997/7/Add.1) auf das sog. Global Warming Potential (Zeithorizont 100 Jahre), gemäss Second Assessment Report (SAR) des IPCC (Houghton *et al.*, 1996). Dem neuesten Wissensstand entsprechend sind im dritten IPCC-Bericht (TAR) die Werte leicht korrigiert (Watson, 2001). Gemäss KP Art. 5.3 ist für die erste Verpflichtungsperiode vorgesehen, dass die Werte des IPCC von 1996 (Houghton *et al.*, 1996) verwendet werden. In diesem Artikel ist jedoch auch vorgesehen, periodische Anpassungen dieser Werte vorzunehmen. Demnach besteht prinzipiell die Möglichkeit, dass modifizierte Werte zur Anwendung kommen könnten. Es ist aber damit zu rechnen, dass allfällige Änderungen gering sein werden.

9.2 Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.3

Tabelle 14: Abhängigkeit der Bonität von der Standortgütekategorie nach LFI und Anzahl Jahre bis zum Erreichen von BHD = 12 cm und Hdom = 3 m.

Standortgütekategorie (LFI)	Bonität		Alter BHD = 12 cm [Jahre]		Alter Hdom = 3 m [Jahre]	
	Fichte	Buche	Fichte	Buche	Fichte	Buche
gering	8	8	80	78	28	20
mässig	15	13	47	69	17	14
gut	20	17	35	55	12	11
sehr gut	23	19	30	47	11	10

Tabelle 15: Anteil der Standortgütekategorie in den Produktionsregionen der Schweiz nach LFI 2 S. 68.

	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Alpensüdseite	Schweiz
gering	3%	1%	9%	23%	7%	11%
mässig	12%	1%	23%	55%	43%	31%
gut	40%	23%	51%	17%	50%	33%
sehr gut	45%	75%	17%	4%	0%	26%

Tabelle 16: Transitionsmatrix (Änderung) der Kategorien Wald, Gebüschwald und Nichtwald in 10 Jahren basierend auf den Erhebungen der Arealstatistik von 1979/85 und von 1992/97 in ha.

	Wald 2	Gebüschwald 2	Nichtwald 2
Wald 1	1'080'444	87	5'327
Gebüschwald 1	979	55'740	358
Nichtwald 1	17'114	3'892	2'958'984

9.3 Verwendung forstlicher Datensätze für Artikel 3.4

Tabelle 17: Nach verschiedenen Definitionen unter Art. 3.4 anrechenbare jährliche Vorraterhöhungen und Kohlenstoffmengen nach Daten von LFI 1 und LFI 2 aufgeteilt nach Produktionsregionen⁸².

	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Alpensüdseite	Schweiz
Volumen [1000 m ³ a ⁻¹]						
Nadelholz	216	199	434	332	153	1'334
Laubholz	330	391	255	187	224	1'387
Total (stehend lebend)	546	589	689	520	377	
anrechenbarer Anteil						
PLAN=1,2,3 ⁸³	99%	99%	99%	100%	99%	99%
BESTALT≤80, PLAN=1,2,3	43%	50%	49%	48%	73%	51%
BESTALT≤100, PLAN=1,2,3	61%	72%	65%	56%	78%	64%
BESTALT≤120, PLAN=1,2,3	76%	88%	78%	63%	82%	76%
NUJRLFI2<5; ≠-99	35%	44%	27%	20%	8%	28%
NUJRLFI2<10; ≠-99	52%	69%	44%	30%	11%	43%
NUJRLFI2<18; ≠-99	75%	88%	67%	44%	20%	60%
NUJRLFI2<20; ≠-99	77%	89%	70%	47%	21%	62%
NUJRLFI2<22; ≠-99	81%	91%	74%	51%	22%	66%
anrechenbare Menge [kt C a ⁻¹] ⁸⁴						
PLAN=1,2,3 ⁸³	191	212	222	167	131	923

⁸² Die Volumenschätzungen sind nicht verfügbare Merkmale der LFI-Datenbank. Es wurden deshalb die publizierten, nach Produktionsregionen aufgeteilten Volumenwerte verwendet und mit dem durchschnittlich anrechenbaren Anteil für jede Region multipliziert.

⁸³ PLAN-Code: 1) Wirtschaftsplan WP vorhanden, Bewirtschaftung vorgesehen, 2) Waldbauprojekt vorhanden, 3) Wirtschaftswald ohne Planung, 4) Übrige (Nichtwirtschaftswald, Reservat), keine Bewirtschaftung vorgesehen

⁸⁴ Die Berechnung des anrechenbaren Kohlenstoffs geschieht wie folgt: Multiplikation der Vorräte mit dem Expansionsfaktor 1.45 für nicht berücksichtigte Biomasse wie Äste und Wurzeln und mit der Dichte 0.384 t/m³ (Nadelholz) oder 0.556 t/m³ (Laubholz). Die Umrechnung von Trockenmasse in Kohlenstoff erfolgt mit dem Faktor 0.5.

	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Alpensüdseite	Schweiz
BESTALT \leq 80, PLAN=1,2,3	83	107	109	81	97	476
BESTALT \leq 100, PLAN=1,2,3	117	154	145	94	103	613
BESTALT \leq 120, PLAN=1,2,3	147	188	175	105	109	724
NUJRLFI2<5; \neq -99	68	93	61	33	10	265
NUJRLFI2<10; \neq -99	101	146	98	51	14	410
NUJRLFI2<18; \neq -99	144	187	150	75	26	581
NUJRLFI2<20; \neq -99	149	189	156	79	27	600
NUJRLFI2<22; \neq -99	157	194	164	86	29	631

9.4 Laufende Forschungsprojekte

Tabelle 18: Zusammenstellung der laufenden Projekte. In der letzten Spalte sind die folgenden Bemerkungen angebracht: GF: Grundlagenforschung, U: Umsetzung und angewandte Forschung. Die Liste für die Schweiz ist unseres Erachtens vollständig, diejenige für Europa ausführlich. Zusätzlich sind einige ausgewählte globale Projekte aufgeführt.

Titel	Autoren, URL	FP	Beschreibung	B
Schweiz				
ROOKEY: Recent growth trends in spruce and European beech forests - ROOts, the hidden KEY players?	Bräker, O.U.; Cherubini, P.; Rigling, A.; Kräuchi, N., Schoch, W.; Lüscher, P. WSL Birmensdorf, mailto:braeker@wsl.ch	COST E21		GF
Response of N availability to atmospheric CO ₂ enrichment in a mature forest.	Schleppi, P.; Bucher, J.B. WSL, Birmensdorf; mailto:schleppi@wsl.ch http://www.wsl.ch/forest/wus/e21/e21-de.htm	COST E21		GF
Carbon binding of forests in a CO ₂ -rich world (Carbon binding of forests)	Körner, Ch., mailto:Ch.Koerner@unibas.ch Botanisches Institut, Universität Basel; http://www.unibas.ch/botschoen/07/d.shtml	COST E21		GF
CPF-CH: Carbon pools and fluxes in Swiss forests: a quantitative assessment for the present and the 21st century	Bugmann, H. ¹ ; Fischlin, A. ² ; Lischke, H. ³ ; Kaufmann, E. ³ ¹ Gebirgswaldökologie, ETH Zürich; ² Systemökologie, ETH Zürich; ³ WSL, Birmensdorf; http://www.fowi.ethz.ch/pgw/research_main.htm	COST E21		U
Soil carbon cycling in mature forests under elevated atmospheric CO ₂ .	Hagedorn, F.; Blaser, P.; Bucher, J.B. WSL, Birmensdorf; mailto:hagedorn@wsl.ch	COST E21		GF

Titel	Autoren, URL	FP	Beschreibung	B
Development of dynamic model to establish the potential of carbon emission reductions through carbon substitution (Modelling carbon substitution)	Richter, K. ¹ ; Hofer, P. ² ¹ EMPA, Dübendorf; ² Geo Partner AG, Zürich; mailto:Klaus.Richter@empa.ch	COST E21		
AEROCARB: Airborne European regional observations of the carbon balance	Leuenberger, M., Physikalisches Institut, Universität Bern http://www.climate.unibe.ch/%7ELeuenberger/Aerocarb.html	CarboEurope		GF
BUWAL Projekt "Kohlenstoffvorrat- und Bindungspotential in landwirtschaftlich genutzten Böden der Schweiz"	Fuhrer, J., FAL; mailto:juerg.fuhrer@fal.admin.ch			U
Europa				
FORCAST: Forest Carbon - Nitrogen Trajectories	Detlef Schulze; MPI-Biogeochemie, Jena http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/Forcast/index_for.html	CarboEurope	Quantifizierung von Senken und Quellen in Waldökosystemen	U
CARBO-AGE: Age-related dynamics of carbon exchange in european forests	John Grace; mailto:j.grace@ed.ac.uk , Uni Edinburgh http://www.ierm.ed.ac.uk/CARBO-AGE/HOME.htm	CarboEurope	Dynamik der Kohlenstoffflüsse in europäischen Wäldern	U
CARBOEUROFLUX: An investigation on Carbon and Energy exchanges of terrestrial ecosystems in Europe	Riccardo Valentini, Uni Tuscia, Viterbo; Italien http://www.geo.uni-bayreuth.de/mikrometeorologie/Research.html	CarboEurope	Auf Flussmessungen basierende Senken- und Quellenquantifizierung	GF
RECAB: Regional assessment and modelling of the carbon balance of Europe	Han Dolman; Vrije Universiteit, Amsterdam; Holland http://www.biotheon.com/recab	CarboEurope	Verbindung von lokalen Flussmessungen und regionalen atmosphärischen CO ₂ -Konzentrationen	GF

Titel	Autoren, URL	FP	Beschreibung	B
AEROCARB: Airborne European Regional Observations of the Carbon Balance	Phillippe Ciais; mailto:ciais@lsce.saclay.cea.fr Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), LSCE/DSM; Frankreich http://www.aerocarb.cnrs-gif.fr/	CarboEurope	Auf Messungen von atmosphärischen Konzentrationen basierende Modelle der Kohlenstoffflüsse auf regionaler Skala	GF
CARBODATA: Carbon Balance Estimates and Resource Management - Support with Data from Project Networks Implemented at European Continental Scale	Riccardo Valentini; mailto:rik@unitus.it Uni Tuscia, Viterbo; Italien http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/	CarboEurope	Erstellen einer Datenbank mit Auswertungen von schon abgeschlossenen EU-Projekten und von CarboEurope	U
GREENGRASS: Sources and Sinks of Greenhouse Gases from managed Europe-an Grasslands and Mitigation Strategies	Jean-François Soussana; Institut National de la Recherche Agronomique, Clermont-Ferrand Cedex 02, France http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/	CarboEurope		U
TACOS: Terrestrial and Atmospheric Carbon Observing System Infrastructure	Phillipe Ciais, Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), LSCE/DSM; Frankreich http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/	CarboEurope		
TCOS: Terrestrial Carbon Observing System - Siberia	Martin Heimann, MPI-Biogeochemie, Jena, Deutschland http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/	CarboEurope		
Forest Ecology and Management, 2) Forest Products, Markets and Socio-Economics, 3) Policy Analysis, 4) Forest Resources and Information	Timo Karjalainen (1) mailto:Timo.Karjalainen@efi.fi , Anssi Niskanen (2), Ilpo Tikkanen (3), Andreas Schuck (4) EFI (European Forest Institute), Finnland http://www.efi.fi/research			
Carbon storage in European grasslands	Jørgen E. Olesen; mailto:JorgenE.Olesen@agrsci.dk , Danish Institute of Agricultural Sciences http://www.agrsci.dk/pvj/plant/COST627/	Cost Action 627		

Titel	Autoren, URL	FP	Beschreibung	B
Global (ausgewählte Projekte)				
LBA CARBOSINK: The Future of the Tropical Forest Carbon Sink European Contribution to the Large-scale Biosphere-atmosphere Experiment in Amazonia: Carbon Cycle	Pavel Kabat, Department of Water Management, Wageningen, Netherlands http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/people/lba.html http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/	CarboEurope	Zukünftiges Verhalten der Kohlenstoffsenske des tropischen Regenwaldes in Amazonien	GF
EUROSIBERIAN CARBOFLUX: Eurosiberian-Carbonflux - a Feasibility Study to quantify Fluxes of Biogeochemical Trace Gases on a Regional and Continental Scale	Martin Heimann MPI-Biogeochemie, Jena, Deutschland http://www.bgc-jena.mpg.de/%7Emartin.heimann/eurosib/	CarboEurope	Machbarkeitsstudie der Quantifizierung der regionalen Kohlenstoffflüsse mit Treibgasen in Sibirien	GF
Carbon Cycle Science Program	http://www.usgcrp.gov/ http://www.carboncyclescience.gov http://www.nsf.gov/geo/egch/	U.S. Global Change Research Program (USGCRP)	Erforschung des Kohlenstoffkreislaufes unter spezieller Berücksichtigung der Senken auf dem Land und in Ozeanen.	GF
A) Measurement & spatial estimation of carbon pools and their turnover, B) Projecting changes in the Carbon Cycle, C) Systems Development & Support, D) Science Applications & Outreach	Graham Farquhar, Snow Barlow, u. a. Australian National University, University of Melbourne, u. a., Australien http://www.greenhouse.crc.org.au/	CRC Research Programms	Erforschung des Kohlenstoffkreislaufes und seine Beeinflussung durch Klimaänderungen, Entwicklung von Messmethoden zur Erfassung terrestrischer Kohlenstoffflüsse, von Massnahmen zur Reduktion des Netto Treibhausgasausstosses und eines Anrechnungsverfahrens (Kyotoprotokoll)	
Bioenergy, Carbon Economics, Carbon Monitoring System	John Gifford, Neuseeland http://www.forestresearch.co.nz/	Forest Research		U

BERICHTE DER FACHGRUPPE SYSTEMÖKOLOGIE
SYSTEMS ECOLOGY REPORTS
ETH ZÜRICH

Nr./No.

- 1 FISCHLIN, A., BLANKE, T., GYALISTRAS, D., BALTENSWEILER, M., NEMECEK, T., ROTH, O. & ULRICH, M. (1991, erw. und korr. Aufl. 1993): Unterrichtsprogramm "Weltmodell2"
- 2 FISCHLIN, A. & ULRICH, M. (1990): Unterrichtsprogramm "Stabilität"
- 3 FISCHLIN, A. & ULRICH, M. (1990): Unterrichtsprogramm "Drosophila"
- 4 ROTH, O. (1990): Maisreife - das Konzept der physiologischen Zeit
- 5 FISCHLIN, A., ROTH, O., BLANKE, T., BUGMANN, H., GYALISTRAS, D. & THOMMEN, F. (1990): Fallstudie interdisziplinäre Modellierung eines terrestrischen Ökosystems unter Einfluss des Treibhauseffektes
- 6 FISCHLIN, A. (1990): On Daisyworlds: The Reconstruction of a Model on the Gaia Hypothesis
- 7 * GYALISTRAS, D. (1990): Implementing a One-Dimensional Energy Balance Climatic Model on a Microcomputer (*out of print*)
- 8 * FISCHLIN, A., & ROTH, O., GYALISTRAS, D., ULRICH, M. UND NEMECEK, T. (1990): ModelWorks - An Interactive Simulation Environment for Personal Computers and Workstations (*out of print*] for new edition see title 14)
- 9 FISCHLIN, A. (1990): Interactive Modeling and Simulation of Environmental Systems on Workstations
- 10 ROTH, O., DERRON, J., FISCHLIN, A., NEMECEK, T. & ULRICH, M. (1992): Implementation and Parameter Adaptation of a Potato Crop Simulation Model Combined with a Soil Water Subsystem
- 11 * NEMECEK, T., FISCHLIN, A., ROTH, O. & DERRON, J. (1993): Quantifying Behaviour Sequences of Winged Aphids on Potato Plants for Virus Epidemic Models
- 12 FISCHLIN, A. (1991): Modellierung und Computersimulationen in den Umweltnaturwissenschaften
- 13 FISCHLIN, A. & BUGMANN, H. (1992): Think Globally, Act Locally! A Small Country Case Study in Reducing Net CO₂ Emissions by Carbon Fixation Policies
- 14 FISCHLIN, A., GYALISTRAS, D., ROTH, O., ULRICH, M., THÖNY, J., NEMECEK, T., BUGMANN, H. & THOMMEN, F. (1994): ModelWorks 2.2 – An Interactive Simulation Environment for Personal Computers and Workstations
- 15 FISCHLIN, A., BUGMANN, H. & GYALISTRAS, D. (1992): Sensitivity of a Forest Ecosystem Model to Climate Parametrization Schemes
- 16 FISCHLIN, A. & BUGMANN, H. (1993): Comparing the Behaviour of Mountainous Forest Succession Models in a Changing Climate
- 17 GYALISTRAS, D., STORCH, H. v., FISCHLIN, A., BENISTON, M. (1994): Linking GCM-Simulated Climatic Changes to Ecosystem Models: Case Studies of Statistical Down-scaling in the Alps
- 18 NEMECEK, T., FISCHLIN, A., DERRON, J. & ROTH, O. (1993): Distance and Direction of Trivial Flights of Aphids in a Potato Field
- 19 PERRUCHOUD, D. & FISCHLIN, A. (1994): The Response of the Carbon Cycle in Undisturbed Forest Ecosystems to Climate Change: A Review of Plant–Soil Models
- 20 THÖNY, J. (1994): Practical considerations on portable Modula 2 code
- 21 THÖNY, J., FISCHLIN, A. & GYALISTRAS, D. (1994): Introducing RASS - The RAMSES Simulation Server

* Out of print

- 22 GYALISTRAS, D. & FISCHLIN, A. (1996): Derivation of climate change scenarios for mountainous ecosystems: A GCM-based method and the case study of Valais, Switzerland
- 23 LÖFFLER, T.J. (1996): How To Write Fast Programs
- 24 LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A., LISCHKE, H. & ULRICH, M. (1996): Benchmark Experiments on Workstations
- 25 FISCHLIN, A., LISCHKE, H. & BUGMANN, H. (1995): The Fate of Forests In a Changing Climate: Model Validation and Simulation Results From the Alps
- 26 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Calculating temperature dependence over long time periods: Derivation of methods
- 27 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Calculating temperature dependence over long time periods: A comparison of methods
- 28 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Aggregation of Individual Trees and Patches in Forest Succession Models: Capturing Variability with Height Structured Random Dispersions
- 29 FISCHLIN, A., BUCHTER, B., MATILE, L., AMMON, K., HEPPELLE, E., LEIFELD, J. & FUHRER, J. (2003): Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Verfasst im Auftrag des BUWAL
- 30 KELLER, D., 2003. *Introduction to the Dialog Machine, 2nd ed.* Price,B (editor of 2nd ed)

Erhältlich bei / Download from

<http://www.ito.unmw.ethz.ch/SysEcol/Reports.html>

Diese Berichte können in gedruckter Form auch bei folgender Adresse zum Selbstkostenpreis bezogen werden / Order any of the listed reports against printing costs and minimal handling charge from the following address:

SYSTEMS ECOLOGY ETHZ, INSTITUTE OF TERRESTRIAL ECOLOGY
GRABENSTRASSE 3, CH-8952 SCHLIEREN/ZURICH, SWITZERLAND

ISBN 3-9522686-0-7