

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 155 (2004)

Heft: 5

Artikel: Die Rolle der Wälder im Protokoll von Kyoto : Abschätzungen ihres Kohlenstoffvorrates gestützt auf Satellitendaten

Autor: Romero, José / Volz, Richard / Giambioni, Marzio / Rüschi, Willy

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098105>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 12.04.2026

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

Die Rolle der Wälder im Protokoll von Kyoto – Abschätzung ihres Kohlenstoffvorrates gestützt auf Satellitendaten

JOSÉ ROMERO, RICHARD VOLZ, MARZIO GIAMBONI UND WILLY RÜSCH

Keywords: Climate change; air pollution; greenhouse gases; forest; Switzerland. FDK 111.83 : 181.2 : 181.45 : 585 : 97 : (494)

1. Klimaänderung, die Klimakonvention und das Protokoll von Kyoto

Das Weltklima hat sich seit dem vorindustriellen Zeitalter verändert und die meisten der in den vergangenen 50 Jahren beobachteten Veränderungen sind auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen, die die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen erhöht haben. Diese Tätigkeiten sind die Gewinnung und Nutzung fossiler Energieträger sowie Land- und Forstwirtschaft, insbesondere Rodung, die Treibhausgase (CO₂, Methan, Lachgas) freisetzen. So stiegen die Temperaturen seit Beginn des 20. Jahrhunderts weltweit im Durchschnitt um 0,6 °C und in der Schweiz nördlich der Alpen durchschnittlich um 1,4 °C. Unter den jetzigen Umständen wird bis Ende des 21. Jahrhunderts mit einem mittleren globalen Temperaturanstieg von 1,4 bis 5,8 °C gerechnet.

Dies stellt die zwischenstaatliche Sachverständigengruppe für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) in ihrem 2001 erschienenen dritten Evaluationsbericht fest¹. Das IPCC, an dem auch die Schweiz beteiligt ist, wurde 1988 von der Weltorganisation für Meteorologie und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen gemeinsam ins Leben gerufen, um den Wissensstand auf dem Gebiet der Klimaänderungen laufend zu evaluieren.

Die Klimaänderungen sind eine Bedrohung für die Umwelt und für den Menschen. Als Antwort auf diese weltweite Bedrohung hat die internationale Staatengemeinschaft anlässlich des «Erdgipfels» von 1992 in Rio de Janeiro das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (nachfolgend «Klimakonvention») verabschiedet. Ziel der Klimakonvention ist, die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, das jede gefährliche Störung des Klimas ausschliesst. 1997 wurde das Kyoto-Protokoll erarbeitet, das quantifizierte, rechtlich verbindliche Ziele für die Reduktion der Emissionen der Industrieländer von sechs Treibhausgasen vorschreibt. Die Schweiz hat die Klimakonvention 1993 und das Protokoll von Kyoto – das noch nicht in Kraft ist – im Juli 2003 ratifiziert.

Die Wälder sind auch in der Klimakonvention erwähnt. Die Länder sind eingeladen, die Kohlenstoffvorräte und die Kohlenstoffsenken (oder kurz Senken) zu erhalten und zu erweitern. Als Senken werden Kohlenstoffspeicher bezeichnet, die im Austausch mit der Atmosphäre stehen und dieser netto CO₂ entziehen. Es geht vor allem um ökosystemare Senken wie Wälder. Das Protokoll von Kyoto regelt ihre Anrechnung im Rahmen der Verpflichtungen der Länder in Artikel 3, Absatz 3 und 4.

Dieser Aufsatz präsentiert ein Projekt, wie die Berichterstattung im Rahmen des Protokolls von Kyoto mit Satellitendaten verbessert werden kann.

2. Das Protokoll von Kyoto und die Bedeutung der Kohlenstoffsenken

Die Klimakonvention nennt keine quantifizierte Emissionsreduktionsziele für die Länder. Dies wird im Rahmen des Protokolls von Kyoto geregelt.

2.1 Ziele des Kyoto-Protokolls

Das Protokoll von Kyoto enthält quantitative, rechtlich verbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen durch die Industrieländer. Die wichtigsten Elemente des Protokolls von Kyoto lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es werden sechs Treibhausgase erfasst: CO₂, CH₄, N₂O, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase wird mit dem «Global Warming Potential» (GWP) auf CO₂-Äquivalente umgerechnet.
- Für die Industrieländer werden rechtlich verbindliche und quantifizierte Verpflichtungen festgelegt, die Emissionen von diesen sechs Treibhausgasen zu reduzieren. Die Vertragsparteien gehen die gemeinsame Verpflichtung ein, ihre gesamten Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten innerhalb des ersten, fünfjährigen Verpflichtungszeitraumes (2008 bis 2012) um mindestens 5% unter das Niveau des Basisjahres 1990 zu senken. Jedes Industrieland darf während des Verpflichtungszeitraums 2008 bis 2012 eine «zugeteilte Menge» («assigned amount») Treibhausgasemissionen freisetzen. So müssen die Schweiz und die Europäische Union² ihren Ausstoss um 8% reduzieren, die USA um 7%, Japan um 6%, Kanada um 5%, mittel- und osteuropäische Länder um zwischen 5 bis 8%, Russland, die Ukraine und Neuseeland um 0% (Stabilisierung). Australien und Norwegen können ihre Emissionen hingegen um 8% beziehungsweise um 1% erhöhen.
- Veränderungen der Wälder und ihre Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz müssen oder können unter bestimmten Bedingungen angerechnet werden.
- Das Protokoll von Kyoto ermöglicht mit den sogenannten Joint Implementation, Clean Development Mechanism und Emissions Trading («flexiblen Mechanismen») Flexibilitäten zur Erreichung der Emissionsbegrenzung.

Die flexiblen Mechanismen erlauben den Industriestaaten, sich als Ergänzung zu den inländischen Reduktionsverpflichtungen auch im Ausland erbrachte Reduktionsleistungen gut-

¹ IPCC 2001: Third Assessment Report – Climate Change. 4 volumes: The Scientific Basis; Impacts, Adaptation and vulnerability; Mitigation; Synthesis Report, <http://www.ipcc.ch> (7.4.2004).

² Dieses Reduktionsziel muss von den EU-Mitgliedsländern im Rahmen des EU-Emissionsverbundes gemeinsam erreicht werden.

schreiben zu lassen. In diesem Rahmen können Senkenprojekte im Ausland, insbesondere in Entwicklungsländern, durchgeführt werden.

2.2 Bedeutung der Senken

2.2.1 Globaler Kohlenstoffkreislauf

Für die Beurteilung des Stellenwertes der Senken (bzw. Quellen) aus Sicht des Klimaschutzes und einer davon abzuleitenden Klimapolitik ist das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes unerlässlich (FISCHLIN *et al.* 2003). Der weltweite Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern (GARRELS *et al.* 1975 und IPCC 2000). Die wichtigsten sind³: Atmosphäre (760 Gigatonnen C); Biosphäre (2500 Gigatonnen C) bestehend aus terrestrischer Biomasse (500 Gigatonnen C) und Böden (2000 Gigatonnen C); marine Biomasse (39 000 Gigatonnen C); Sedimente (61 000 000 Gigatonnen C). Zwischen diesen Komplexen werden ständig riesige Mengen an Kohlenstoff ausgetauscht, wobei alle Speicher über die Atmosphäre miteinander verbunden sind. Hier liegt der Kohlenstoff praktisch nur in Form von CO₂⁴ vor.

Der Kohlenstoffaustausch ist nicht überall gleich schnell. Es wird zwischen einem grossen, geologischen Kreislauf und einem biologischen Kreislauf unterschieden. Beim geologischen Kreislauf handelt es sich um gigantische Kohlenstoffvorräte in den Sedimenten (in erster Linie Kalk), die äusserst langsam umgesetzt werden (Verweildauer: bis Millionen von Jahren). Demgegenüber hat der biologische Kreislauf eine markant kürzere Umwälzzeit (Verweildauer: Sekunden bis Jahrtausende). So wird beispielsweise bei Gehölzen der Kohlenstoff bloss über mehrere Jahrhunderte gespeichert.

Dieser globale Kohlenstoffkreislauf wird seit der Industrialisierung durch vom Menschen verursachte CO₂-Emissionen beeinflusst. Die anthropogen verursachten Kohlenstoffflüsse kommen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) sowie aus der Herstellung von Zement aus Kalkstein zustande; von 1890 bis 1998 wurden dadurch rund 270 Gigatonnen Kohlenstoff in Form von CO₂ in die Atmosphäre ausgestossen. Hinzu kommt durch die Rodung tropischer Regenwälder und den damit verbundenen Humusabbau eine zusätzliche Freisetzung von 130 Gigatonnen Kohlenstoff (IPCC 2000).

2.2.2 Bedeutung der Senken im Klimaschutz

Von den Senken wird erwartet, dass sie zumindest eine Zeit lang einen Anteil der anthropogenen CO₂-Emissionen zu kompensieren vermögen. Sie ermöglichen damit einen Zeitgewinn, bis die Reduktionspolitik greift. Wenn es damit gelingt, die Emissionen aus den Landnutzungsänderungen (diese stellen rund 20% der anthropogenen Emissionen dar) zu vermindern, beispielsweise durch Vergrösserung oder Erhaltung der terrestrischen Biomasse (hauptsächlich Wälder), wird mit den Senken aber auch effektiv ein substanzieller Beitrag an den Klimaschutz geleistet. Die Prinzipien über die Senken sind im Kyoto-Protokoll in den Artikeln 3.3 und 3.4 geregelt.

2.2.3 Biologische Kohlenstoffspeicherung in der Schweiz

Oberirdische Vegetation und Wald

Die Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Vegetation (d.h. terrestrische Biomasse) beträgt in der Schweiz rund 600 Millionen Tonnen (PAULSEN 1995). Rund 90% des in der Vegetation gespeicherten Kohlenstoffs befindet sich in den Wäl-

dern. Weltweit gesehen ist im Holz aller Wälder über 85% des in Pflanzen gebundenen Kohlenstoffs enthalten (IPCC 2000).

Kohlenstoff im Boden

Der Boden speichert weltweit ungefähr fünfmal so viel Kohlenstoff wie die oberirdische Vegetation und rund 85% des in der Vegetation gespeicherten Kohlenstoffs befinden sich in Wäldern (IPCC 2000). In der Schweiz entfallen rund 75% der Kohlenstoffspeicherung auf die Böden (PERRUCHOUD & FISCHLIN 1994; PERRUCHOUD 1996; PERRUCHOUD *et al.* 1998; PERRUCHOUD *et al.* 1999 und PERRUCHOUD *et al.* 2000). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich rund 45% des biologischen Kohlenstoffs des Waldes in der Schweiz im Boden befinden (PERRUCHOUD *et al.* 2000): 135 Millionen Tonnen in der lebenden Biomasse (Wurzeln), 110 Millionen Tonnen im organischen Bodenmaterial, 12 Millionen Tonnen in der Streuaufgabe (PAULSEN 1995).

Diese Zahlen sind im Zusammenhang mit Waldflächen im Sinne von Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls von eigentlicher Bedeutung. Die lebende Biomasse wird aus dem Derbholtzvorrat geschätzt; dabei wird die Biomasse im Derbholtz mit dem Faktor 1,45 multipliziert um die gesamte Biomasse zu erhalten. Zur Veränderung des Kohlenstoffgehaltes im Boden gibt es noch weniger Informationen als über den Vorrat der terrestrischen Biomasse. Eine Abschätzung wurde von PERRUCHOUD *et al.* (1999) gemacht. Für das Jahr 1985 wird geschätzt, dass der Kohlenstoffgehalt im Waldboden der Schweiz um 0,35 Millionen Tonnen Kohlenstoff zugenommen hat. Zur Veränderung des Kohlenstoffvorrates der einwachsenden Waldflächen fehlen entsprechende Untersuchungen weitgehendst.

2.3 Bedingungen von Artikel 3.3

Die Nettoänderungen von Senken und Quellen der Emissionen von Treibhausgasen als Folge von Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Rodungen, welche nach dem 31. Dezember 1989 ausgeführt wurden, müssen zur Erfüllung der Zielerreichung angerechnet werden.

Aufforstungen und Wiederaufforstungen: Diese unterscheiden sich nur unbedeutend. Vor Beginn einer Aufforstung muss die Fläche seit mindestens 50 Jahren nicht mit Wald bestockt gewesen sein; von einer Wiederaufforstung spricht man, wenn eine Fläche vor dem 31. Dezember 1989 weniger als 50 Jahre lang nicht bewaldet war. Die während den Jahren 2008 bis 2012 erzielte Vorratserhöhung wird als Senke angerechnet.

Rodungen: Der Kohlenstoffgehalt der in den Jahren 2008 bis 2012 gerodeten Biomasse muss als Quelle angerechnet werden.

Obwohl das natürliche Einwachsen nicht zwingend als Aufforstung gelten kann, handelt es sich bei den neu einwachsenden Flächen langfristig um das grösste Senkenpotenzial, welches die CO₂-Speicherung gegenüber dem früheren Flurland deutlich erhöht.

2.4 Bedingungen von Artikel 3.4

Es sind folgende Aktivitäten anrechenbar: Waldbewirtschaftung, Ackerbau, Graslandbewirtschaftung, Aufwertung der Vegetation. Die Anrechnung dieser Aktivitäten ist freiwillig. Auch sie sind nur anrechenbar, wenn sie – wie bei Artikel 3.3 – nach dem 31. Dezember 1989 durchgeführt wurden. Die

³ Kohlenstoffvorrat in Gigatonnen (1 GT = 10⁹ t).

⁴ C : CO₂ (gemäss Atomgewicht 12 : 44) ~ 1 : 3,67.

Länder haben die Wahlmöglichkeit, welche Aktivitäten sie anrechnen wollen. Die Schweiz hat darüber noch nicht entschieden. Wie in vielen andern Ländern stellt die Waldbewirtschaftung in der Schweiz die potenziell stärkste Senkenkategorie gemäss Artikel 3.4 dar.

3. Verpflichtungen und Problematik in der Schweiz

Die Länder einigten sich auf länderspezifische Emissionsbegrenzungs- bzw. Reduktionsverpflichtungen; das Protokoll von Kyoto legt in Artikel 3, Absatz 1 (Anhang B) die quantitativen, länderspezifischen Reduktionsverpflichtungen fest. Die Schweiz muss ihre Treibhausgasemissionen im Verpflichtungszeitraum 2008 bis 2012 gegenüber 1990 um 8% senken. Diese Verpflichtung muss für den Verpflichtungszeitraum insgesamt eingehalten werden; Schwankungen können dementsprechend von Jahr zu Jahr ausgeglichen werden.

Darüber hinaus ist es den Ländern freigestellt, weitere forst- und landwirtschaftliche Aktivitäten, durch welche CO₂ aus der Luft gebunden wird, zur Erreichung des Reduktionsziels zu nutzen. Mittel dazu sind die Senken (siehe Kapitel 2.2). Entsprechend den Nettobeträgen der Bilanz der CO₂-Senken und/oder -Quellen können diese an die zulässige Emissionsreduktion angerechnet werden. Da bei den Senken jedoch kaum objektiv zwischen echten menschlichen Verdiensten und natürlichen Effekten unterschieden werden kann, wurde für jedes Vertragsland bei der Waldbewirtschaftung eine Obergrenze für die anrechenbare Senkenleistung festgelegt. Für die Schweiz beträgt diese 500 000 Tonnen Kohlenstoff pro Jahr.

Die Schweiz muss ihr Treibhausgasinventar und ihre Emissionsbilanz jährlich dem Sekretariat der Klimakonvention in Bonn vorlegen. Bis 2006 muss die Schweiz auch ihre Absichten bezüglich der Nutzung von Senken gegenüber der Klimakonvention deklarieren.

3.1 Methodische Probleme bei Richtlinien und Abschätzung des Kohlenstoffvorrates

Aus der Vorratsveränderung von Landesforstinventar (LFI) 1 zu LFI 2, der Nutzung und der Mortalität wurde der durchschnittliche Bruttozuwachs pro Jahr bestimmt. Von diesem Bruttozuwachs wird die Nutzung gemäss Forststatistik abgezählt. Mit einem aus dem LFI 2 ermittelten Faktor werden auch das von der Forststatistik nicht erfasste genutzte Holz und die natürlichen Abgänge berücksichtigt. Zudem wird die jährliche Veränderung der Waldfläche gemäss Forststatistik berücksichtigt (VOLZ *et al.* 2001). Auf diese Weise erhält man die Bilanz des gesamten Waldes. Für das Protokoll von Kyoto müssen nun aufgeforstete und gerodete Flächen separat ausgewiesen werden. Dies ist mit dem LFI nicht möglich, da es weder von der räumlichen noch von der zeitlichen Auflösung her geeignet ist, die jährlichen Veränderungen in den Waldflächen wiederzugeben.

3.2 Methodische Probleme bei der Walddefinition

Ein Vergleich der Walddefinitionen der Waldverordnung, des LFI, der eidgenössischen Arealstatistik und des Protokolls von Kyoto zeigt eine Uneinheitlichkeit, da diese je nach Bereich durch unterschiedliche materielle und politische Anforderungen verursacht wurde. Die Anforderungen des Kyoto-Protokolls werden sich gewiss auf die nationalen Begriffsdefinitionen auswirken; es ist daher angezeigt, dass die Waldbegriffe vereinheitlicht werden sollten. Bei einer Revision des Waldgesetzes sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden.

3.3 Reporting-Guidelines und Good Practice Guidance des IPCC

Die IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories⁵ regeln die Erarbeitung des Treibhausgasinventars im Rahmen der Klimakonvention. Der Wald fällt unter das Kapitel 5, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft. Dieses wird in die folgenden fünf Bereiche unterteilt: (A) Änderung des Biomassevorrats im Wald und anderer Holzbiomasse, (B) Umwandlung von Wald und Grasland, (C) Aufgabe von bewirtschaftetem Land, (D) CO₂-Emission und -Absorption des Bodens, (E) Anderes. Die Schweiz hat bisher mangels Daten nur Bereich A ausgefüllt, wobei grundsätzlich die Veränderungen gemäss den Bereichen B und C in Bereich A enthalten sind, soweit sie den Wald betreffen.

An der Klimakonferenz in Mailand im Dezember 2003 wurde das neue Regelwerk, die IPCC Good Practice Guidance⁶ vorgelegt. Die Konferenz hat die Länder aufgefordert, die Angaben für das Treibhausgasinventar ab 2005 nach den neuen Regeln einzureichen. Das bedeutet insbesondere, dass die Änderungen zwischen den Landnutzungskategorien (siehe Kapitel 5.2) im Detail zu berichten sind.

Für das Protokoll von Kyoto sind Vorgaben zu erfüllen, weil nur Aktivitäten, die den Artikeln 3.3 und 3.4 entsprechen, angerechnet werden können. Das bedeutet zum Beispiel, dass die Flächen, auf denen aufgeforstet wurde oder eine Bewirtschaftung stattgefunden hat, identifiziert werden müssen.

3.4 Wald als eines der Instrumente der schweizerischen Klimapolitik

Die Schweiz ist überzeugt – wie die EU-Länder, Norwegen und einige Entwicklungsländer – dass sich das Klimaproblem langfristig nicht durch Senken, sondern einzig über eine Reduktion der Emissionen lösen lässt. Während der Klimadebatten wollten einzelne grosse Industrieländer mit riesigen Waldflächen (z.B. Kanada, Russland) jedoch die Senken nutzen, da sie – wie erwähnt – eine vorübergehende CO₂-Kompensation bewirken. Langfristig gibt allerdings ein Wald gleich viel CO₂ an die Atmosphäre ab, wie er aufnimmt. Kalamitäten wie Stürme und Waldbrände können sogar dazu führen, dass Wälder von der CO₂-Senke zur unerwünschten CO₂-Quelle werden.

Bei einer Analyse der möglichen forstlichen Massnahmen, welche zur Zielerreichung gemäss Kyoto-Protokoll beitragen können, bleiben nur einige wenige, die zweckmässig und gleichzeitig substanzial wirksam sind:

Unter Artikel 3.3

Die ständige Zunahme der Waldfläche, insbesondere durch Einwuchs von ehemaligem Landwirtschaftsland, führt zu einer Senke, die anzurechnen ist, sofern man sie bewusst als Aufforstungen deklariert. Diese Zunahme wird sich höchst wahrscheinlich in den nächsten Jahren fortsetzen und stellt die grösste über längere Zeit wirkende Senkenleistung dar.

Weitere Massnahmen wie Verhinderung von Rodungen und aktive Aufforstungen fielen einerseits wenig ins Gewicht und wären aus der Sicht der aktuellen Raumnutzungspolitik kaum erwünscht bzw. machbar.

Unter Artikel 3.4

Eine Erhöhung des Vorrates wird vor allem durch die Verlängerung der Umtriebszeit und die Bildung von Starkholz er-

⁵ IPCC 1997: Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc.ch/pub/guide.htm> (7.4.2004).

⁶ IPCC 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp> (7.4.2004).

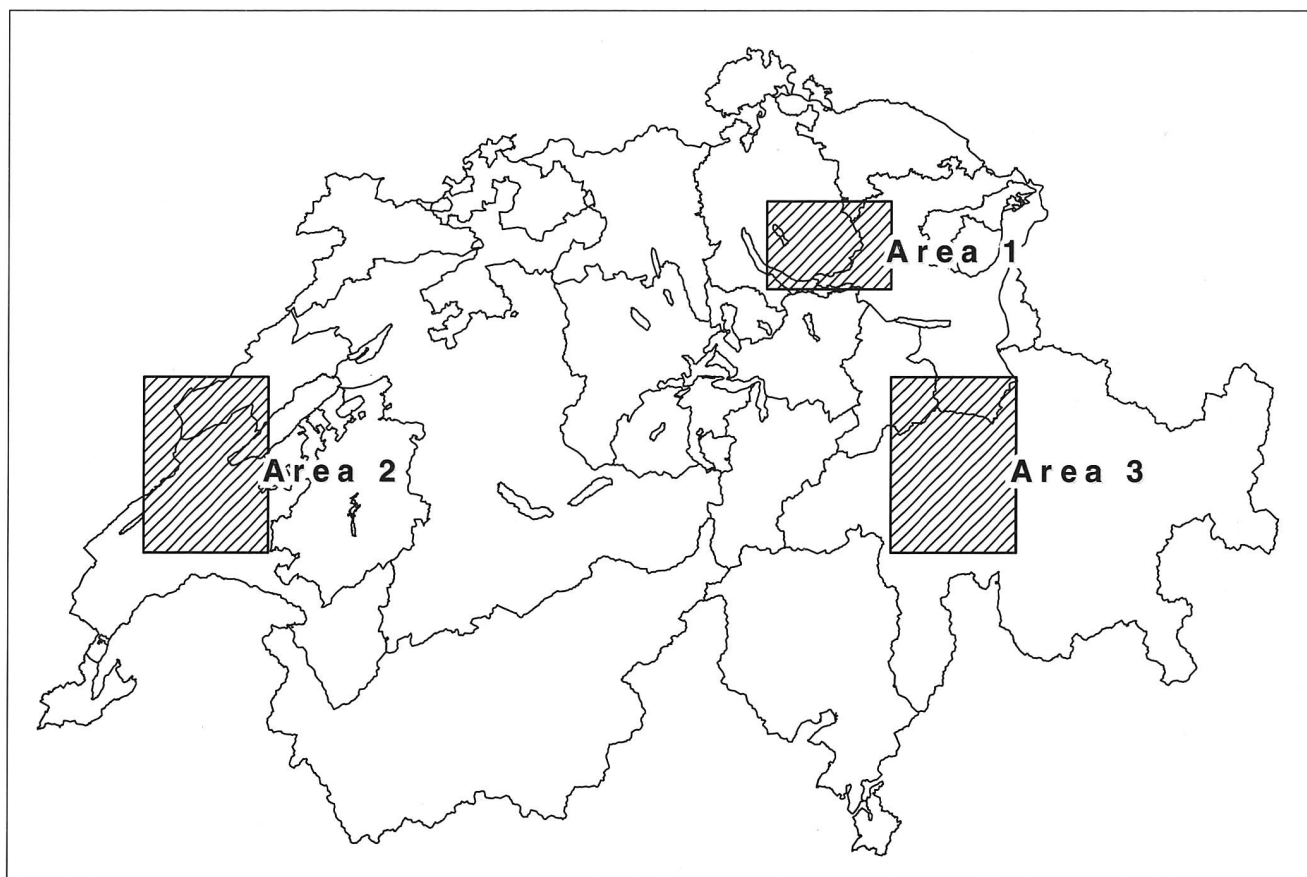


Abbildung 1: Testregionen in der Schweiz.

zielt. Diese findet bereits durch Verminderung der Nutzung vielerorts statt. Sie erhöht wohl vorübergehend die Senkenleistung, führt aber auch zu unerwünschter Überalterung mit der bekannten Anfälligkeit gegen Kalamitäten; dies ist insbesondere beim Schutz gegen Naturgefahren nicht angezeigt.

Die Erhöhung der Senkenleistung kann in Konkurrenz zur Holznutzung geraten. Diese fördert zum Beispiel bei der Nutzung von Energieholz die Substitution von fossilen Brennstoffen und kann so ganz wesentlich zur Emissionsreduktion beitragen. Ähnlich ist es beim Bauholz, das in erster Linie andere Baustoffe substituiert, deren Produktion mehr Energie benötigt, und so auch zur Verminderung der CO₂-Emissionen führt. Am Schluss kann verbautes Holz zudem noch energetisch verwendet werden.

4. Das ESA-Projekt und die Teilnahme der Schweiz

Die European Space Agency (ESA) hat im Rahmen ihres Data User Programmes⁷ das Angebot gemacht, die Möglichkeiten der Fernerkundung ab Satellit hinsichtlich der Erfordernisse des Protokolls von Kyoto auszuloten. Fünf Länder haben dieses Angebot angenommen: Zusammen mit Finnland, Holland, Italien und Norwegen zählt die Schweiz zu den sogenannten Champion Users in diesem Projekt, das im Herbst 2002 gestartet wurde. Die Schweiz strebt mit dem vorliegenden Projekt an, fehlende Daten im Bereich Wald für ihre jährliche Treibhausgasbilanz mittels objektiver Argumente direkt ab Satellit zu beschaffen. Die elektronischen Analysen und Auswertungen werden durch die Firma Intecs in Pisa (Italien) vorgenommen, wobei das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal) für die Koordination der vorhandenen Daten aus der Schweiz sowie die Qualitätssicherung der Projektergebnisse zu-

ständig ist. Das Buwal wird von der Firma RüschiEngineering unterstützt.

In diesen fünf Ländern wurden zwölf Testregionen im Ausmass von insgesamt 500 000 km² bestimmt. In der Schweiz wurden drei Testregionen (Abbildung 1) ausgeschieden, die 3030 km² (bzw. 303 000 ha) umfassen (siehe Kapitel 5.2). Ziel ist es, dass das Projekt in der Schweiz bis Ende 2004 die Möglichkeiten der Fernerkundung mittels Satelliten betreffend Reporting für das Protokoll von Kyoto darstellen kann. Grundsätzlich verlangt das Protokoll von Kyoto eine Identifikation der angerechneten Landflächen sowie deren Entwicklung. Die theoretisch zweifellos vorhandenen Vorzüge der Fernerkundung mittels Satelliten werden in diesem Projekt auf ihren praktischen Vollzug und deren Kosten überprüft.

4.1 Benützung von Satellitendaten

Bei der Benützung und Auswertung der Satellitendaten müssen bestimmte Mindestanforderung erfüllt werden. Darüber hinaus soll das Projekt auch Aufschluss darüber geben, ob allenfalls zusätzliche Erwartungen erfüllt werden können.

Mindestanforderungen aus Sicht der Schweiz

- Ermittlung der Flächen für 1990 und deren Veränderungen der verschiedenen Wald- und Landnutzungskategorien;
- Bestimmung der geeigneten Aufnahmezeitpunkte;
- Erreichbarkeit der notwendigen Genauigkeitsargumente;
- Voraussetzungen für den Wegfall einer terrestrischen Kontrolle.

⁷ <http://www.esa.int/DUP> (7.4.2004).

Zusätzliche Erwartungen

Es soll abgeklärt werden, inwieweit

- mit den Daten der Mindestanforderungen auf die Holzvorräte mit der entsprechenden CO₂-Speicherung und deren Veränderung geschlossen werden kann;
- mit welcher Genauigkeit die jährlichen Erhebungen standardisiert und vergleichbar sind;
- die Anforderungen des Protokolls von Kyoto für Wälder ohne jegliche terrestrischen Daten und Erhebungen erfüllt werden können.

Anforderungen an die Satellitendaten

- absolute Transparenz und Vertrauenswürdigkeit;
- alle Daten mit Standardfehler versehen;
- nur standardisierte Daten benützen;
- geographischer Bezug sichergestellt;
- jährliche Periodizität muss gewährleistet sein;
- keinerlei Datenverlust;
- eine Mindestauflösung von 0,1 ha.

In allen drei Testregionen wurden 1990 und 1997 Luftbilder gemacht auf deren Grundlage die entsprechenden Landeskarten nachgeführt wurden. Für das Jahr 2002 stehen partiell auch die Luftbilder zur Verfügung, welche zur Erfassung der Lotharschäden hergestellt wurden. Damit stehen für die Überprüfung der Satellitenauswertungen die Luftbilder der Landestopographie sowie die Landeskarten selbst zur Verfügung. Für spezielle Fragen kann auf die Arealstatistik und Spezialkarten (Vektor25 usw.) zurückgegriffen werden.

4.2 Welche Satellitendaten können verwendet werden?

Im Projekt geht es im Hinblick auf die spätere Anwendung (in der ersten Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012) konkret darum, die Veränderungen der Landnutzungskategorien zu erfassen sowie die CO₂-Speicherung im Wald der Jahre 1990, 1997 und 2002 zu erheben und zu vergleichen, um damit ihre jährliche Emissionsbilanz möglichst ökonomisch und automatisiert zu erstellen. Dabei ist das Stichjahr von 1990 durch das Protokoll von Kyoto gegeben; die beiden andern Auswertungsjahre – 1997 und 2002 – wurden von der Schweiz vorgeschlagen, da der aktuelle Landeskartensatz in den drei Testgebieten aus dem Jahre 1997 stammt (alter Satz aus 1990) und 2002 dem Projektbeginn entspricht (zusätzlich stehen Luftbildanalysen des Sturmes Lothar zur Verfügung).

Entsprechend dem ersten Datenbedürfnis vom Jahre 1990 müssen die Satellitendaten von Landsat5 TM (Thematic Mapper) verwendet werden (siehe *Kasten*). Die maximale räumliche Auflösung am Boden beträgt im multispektralen Bereich 30 m; d.h. dass ein einzelnes Pixel einer Fläche von 900 m² bzw. 0,09 ha am Boden entspricht. Die Verfügbarkeit der Daten bildete eine Grundvoraussetzung für die Projektpartizipation der Schweiz schlechthin wie auch für den operativen Einsatz betreffend Algorithmen und Groundtruth (= effektiver Zustand im Terrain).

4.3 Testregionen

Es wurden drei Testregionen ausgewählt (*Abbildung 1*), welche die für die Schweiz typischen Waldformen (Alpen, Jura und Mittelland) repräsentieren. In diesen Testregionen werden aufgrund der Landsat5-Bilder und der übrigen Grundlagen (siehe Kapitel 5.1) die Algorithmen abgeleitet. Gemäss den IPCC-Richtlinien werden zu diesem Zwecke folgen-

Landsat

1972 wurde der erste Landsat-Satellit gestartet. Seither konnten fünf weitere Satelliten dieses Typs auf ihre Umlaufbahn von 705 km über der Erde gebracht werden, wobei die Bordsensoren ständig verbessert wurden. Landsat befindet sich wie die andern zivilen Erdbeobachtungssatelliten (z.B. Spot, IRS, Ikonos) auf einer fast polaren Umlaufbahn, d.h. sie bewegen sich von Pol zu Pol. Durch einen Versatz bezüglich der exakten polaren Umlaufbahn ist sichergestellt, dass die Satelliten jedes Gebiet der Erde bei etwa gleichem Sonnenstand überfliegen und die gesamte Erdoberfläche aufnehmen. Landsat nimmt Daten kontinuierlich auf und sendet diese im Empfangsbereich einer Bodenstation zur Erde, wo sie elektronisch archiviert werden. Der Satellit benötigt 16 Tage, um die Erde abzudecken; danach beginnt er wieder am Ausgangspunkt. Bei störungsfreiem Betrieb steht somit alle 16 Tage ein Satellitenbild (elektronisches Rasterbild) des gewünschten Gebietes im Archiv zur Verfügung. Die pro Aufnahme abgedeckte Bildbreite beträgt 185 km (STEINMEIER et al. 2002).

de sechs Landnutzungskategorien ausgeschieden: 1. Wald, 2. Ackerland, 3. Grasland, 4. Siedlungsgebiet, 5. Feuchtgebiet, 6. Übriges Land.

Die Landnutzungskategorie «Wald» wird in folgende Unterkategorien gegliedert: Nadelwald (91–100% Nadelholz, NdH); Laubwald (0–10% NdH); Mischwald (11–90% NdH); Plantagen (in der Schweiz nicht vorhanden); Gebüschwald (maximale Höhe 3 m, minimale Bodenbedeckung 20%).

Obstgärten und Hecken werden nicht zum Wald, sondern zum Grasland gezählt.

4.4 Datengrundlagen

Grundsätzlich steht in der Schweiz nachstehendes Datenmaterial zur Verfügung, das zur Terrainverifikation der Satelliteninformationen und damit zur Erarbeitung von Klassifikationsrichtlinien direkt ab Satellit dienen kann: Landesforstinventar 1 und 2; Forststatistik; Arealstatistik; Bodendaten (172 Standorte in der Schweiz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL); Landwirtschaft (Bodeneignungskarte, Bodenkarten [nicht flächendeckend], Areal- und Gemeindestatistiken, kantonale Bodenbeobachtungen, Moorinventar); Landeskarten der Schweiz (ältere Ausgaben, Pixelkarten und Vektorkarten); Luftbilder swisstopo (inklusive Spezialluftbilder KSL, z.B. Lothar 1999); digitales Höhenmodell swisstopo (DHM25); Waldbestandskarten (in der Regel 1:5000) der Testregionen.

5. Erste Resultate des Projektes und nächste Schritte

5.1 Ergebnisse (Stand März 2004)

Allgemeines

- Genaue Testreihen wurden in den Testregionen 1 (Mittelland) und 2 (Jura) durchgeführt.
- Die direkt ab Satellit interpretierte Waldfläche wird im Grundsatz recht gut dar gestellt.
- Die Bodenaufklärung des Satelliten Landsat5 TM von 30 x 30 m ist in der Schweiz für diesen Zweck genügend.

Schwierigkeiten (Abbildungen 2 und 3)

- Bei kleinen und lockeren Wäldern bestehen im Vergleich zum effektiven Zustand noch einige Schwierigkeiten, da die erforderte Genauigkeit von 90% meistens nicht erreicht wird.
- Die Veränderung der Waldfläche zwischen 1997 und 2002 wird als zu gross wiedergegeben.

Zukünftiges Vorgehen

In der nächsten Projektphase ab 2004 werden seitens Buwal folgende Aktivitäten vorgeschlagen:

- Eichung der Satelliteninterpretation durch die vorhandenen topographischen Landeskarten (Pixel- und Vektorkarten), der Luftbilder sowie der Waldbestandeskarten (1:5000);
- Spezielle Interpretation der lockeren Wälder;
- Innerhalb eines Jahres sind die Jahreszeiten (verschiedene Farben [für Laubwald] je nach Stand des Austreibens) optimal zu erfassen.

5.2 Anforderungen an die Schlussergebnisse

5.2.1 Reporting

Zwingend erwartete Ergebnisse sind: 1. Genaue Veränderung der Waldfläche, 2. Veränderung Laub-/Nadelwald, 3. Genaue Flächenerfassung der anderen Landnutzungsklassen, 4. Veränderungen der Kohlenstoffspeicherung im Wald.

5.2.2 Grundlagen des Reporting

- Algorithmen Wald (z.B. Zusammenhänge zwischen Spektralfarben der Satellitenpixel und traditionellem Luftbild darzustellen, einwachsende Waldflächen; Terrainverifikationen in den Testregionen);
- Algorithmen Landwirtschaft (Schlüsse vom Satellitenbild auf die übrigen Landnutzungs-kategorien gemäss IPCC; siehe Kapitel 3.3);
- Periodizität (jährliche Satellitenbilder bei gleichen Jahreszeiten und bei gleichem Sonnenstand);
- Feststellen der CO₂-Speicherung für Subbereiche der Biomasse (Holzvorrat [Derbholz, Äste und Reisig], Streue, Wurzeln, organisches Bodenmaterial, Gebüschwald [einwachsende Waldflächen]);
- Periode 2008 bis 2012: Definition eines Monitorings/Reportings, bei dem die Veränderungen von Waldfläche und Baumartenverteilung sowie die entsprechende CO₂-Speicherung jährlich bestimmt werden können.

5.3 Flankierende Abklärungen

Durchführung von zusätzlichen Pilotprojekten, welche das Reporting und die politischen Rahmenbedingungen verfeinern können:

- Rahmenbedingungen für die Benützung von Senkenflächen (auch ausserhalb des Waldes);

⁸ Mit SAR-Satelliten (Synthetic Aperture Radar), d.h. mit satelliten-gestützten Radarsystemen, soll es bei einem bestimmten Frequenzspektrum (420 bis 470 MHz) möglich sein, die Biomasse des Wurzelholzes im Waldboden zu eruieren. Im Laufe des Projektes sollten wenn immer möglich solche Aufnahmen und Auswertungen gemacht werden.

⁹ Pressemitteilung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation vom 9. Mai 2003, www.umweltschweiz.ch/buwal/de/medien/presse/archiv/index.html?anfang=30 (7.4.2004).

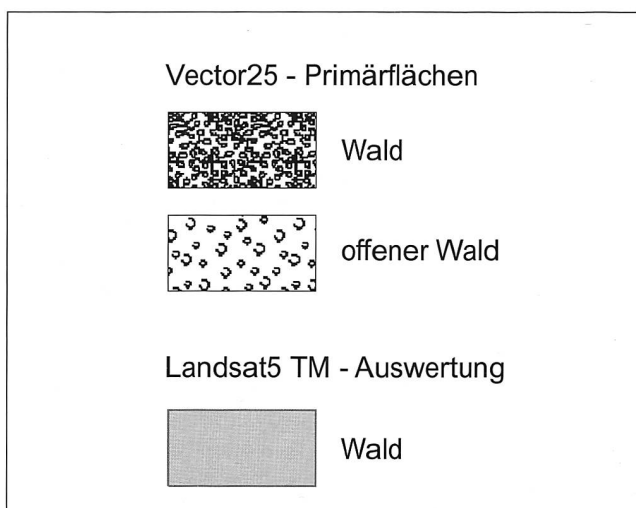
- Auswirkungen von Senken auf die Waldfunktionen wie z.B. im Wald mit besonderen Schutzfunktionen (BSF) und Schutzfunktionen (SF) der Schweiz;
- Verantwortung für langfristige Erhaltung einer Senke;
- praktischer Umgang mit Senken;
- zusätzliche Verwendung von Energieholz;
- «Aufforstungen» in Form von natürlich einwachsenden Landwirtschaftsflächen;
- Bestimmung der Wurzelbiomasse mittels SAR-Satelliten⁸;
- CO₂-Speicherung in Ästen, Reisig usw.

5.4 Politische Rahmenbedingungen

Der Nationalrat hat den Bundesrat, gestützt auf eine Motion der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates (03.3012), beauftragt, die Anrechnung der Senkenleistungen gemäss dem Protokoll von Kyoto zu ermöglichen. Der Bundesrat hat darauf hingewiesen, dass mit einer Senkenanrechnung viele Fragen verbunden sind, die noch geklärt werden müssen⁹. Diese müssen bis Ende 2006 im Wesentlichen geklärt sein. Eine der offenen Fragen ist die Identifikation der angerechneten Flächen und die Erfassung des jährlich gespeicherten Kohlenstoffs. Die Satellitenauswertung soll mindestens die seit 1990 jährlich neu hinzukommenden Waldflächen dokumentieren.

6. Folgerungen

Die direkte Fernerkundung ab Satellit ist eine erfolgsversprechende Art, das Umweltmonitoring zu lösen. Dieses Projekt beweist, dass die Erfordernisse des Protokolls von Kyoto mit Hilfe von Satellitendaten erfüllt werden können. Die ersten Resultate zeigen, welches die Anforderungen an die Satellitendaten und an die Daten des effektiven Zustands im Terrain sind, um optimale Ergebnisse zu erreichen. Die Schweiz wird in Zukunft mehr von den Möglichkeiten der modernen Technologien der Fernerkundung für Umwelt- und Waldmonitoring profitieren.



Legende zu den *Abbildungen 2 und 3* der beiden folgenden Seiten.

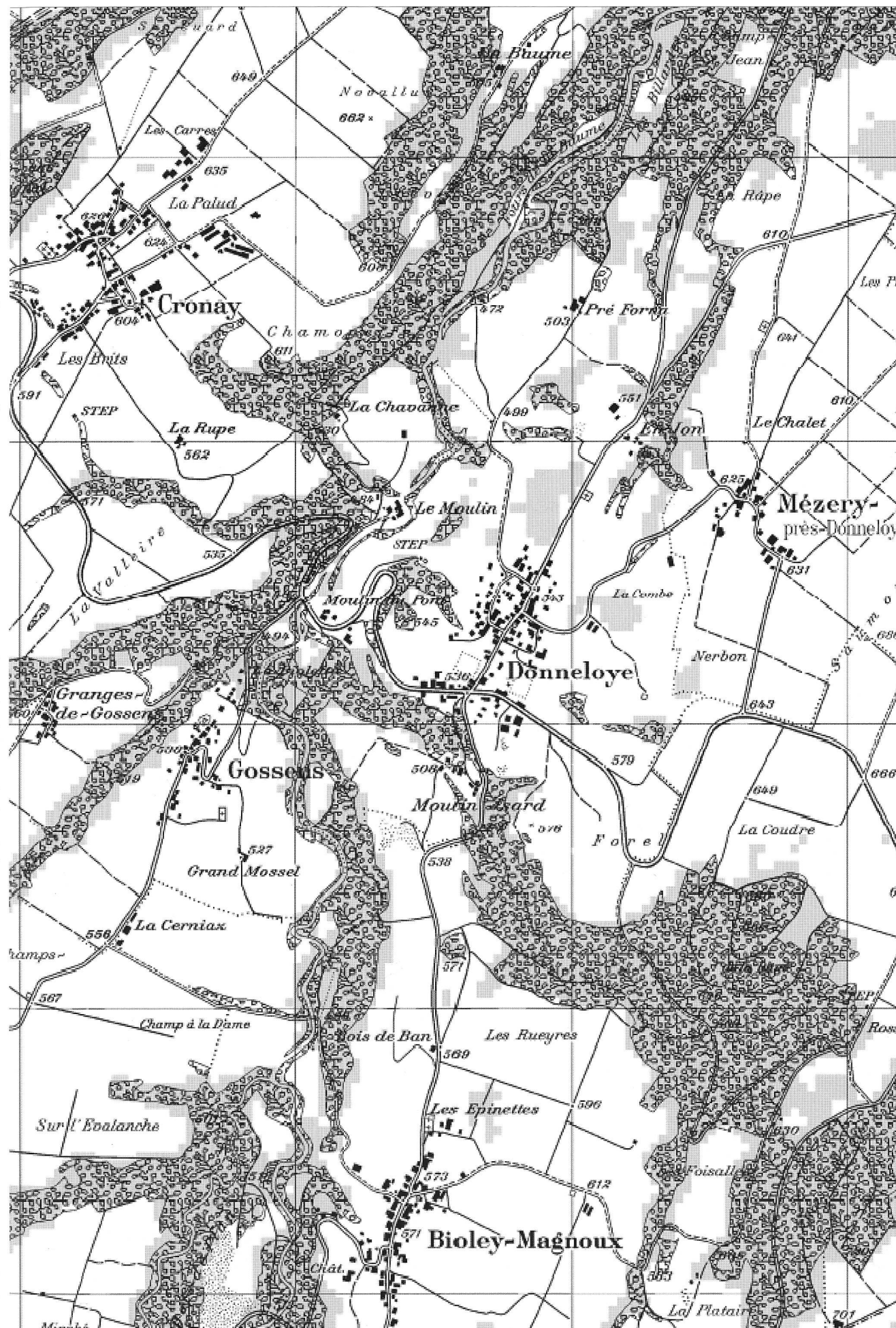


Abbildung 2: Vergleich Satellitenkartierung (hellgrau) mit Vektorkarte (Landeskarte 1:25 000; Blatt 1182), SO Yverdon-les-bains. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA046123).

1 km

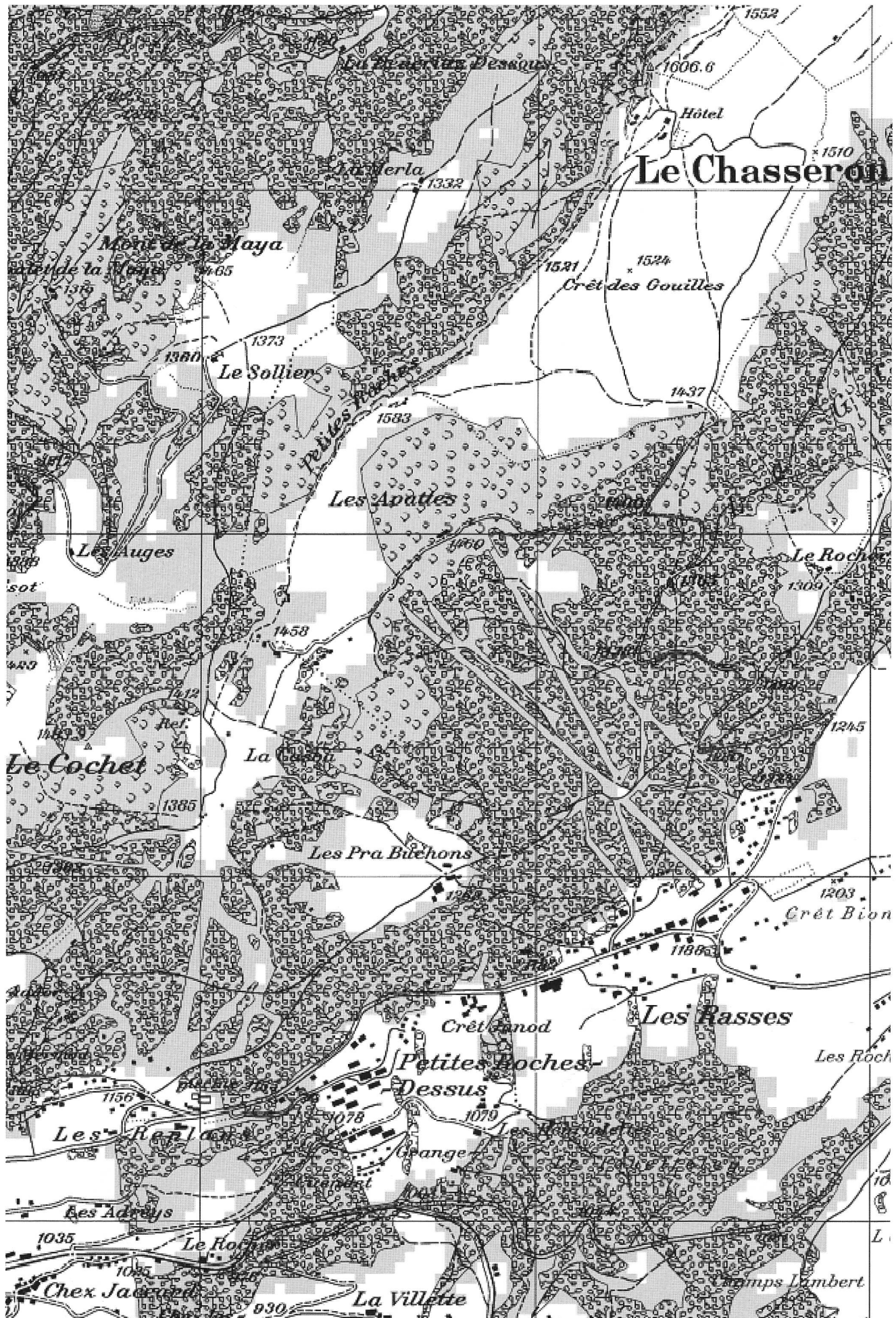


Abbildung 3: Vergleich Satellitenkartierung (hellgrau) mit Vektorkarte (Landeskarte 1:25 000; Blatt 1203), NW Yverdon-les-bains. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA046123).

← 1 km →

Zusammenfassung

Die Schweiz hat 1993 die Klimakonvention und 2003 das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Damit soll die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen im Verpflichtungszeitraum 2008 bis 2012 gegenüber 1990 um 8% senken. Die Schweiz muss ihr Treibhausgasinventar jährlich dem Sekretariat der Klimakonvention vorlegen. Dazu gehört auch die CO₂-Bilanz des Waldes.

Die European Space Agency (ESA) hat innerhalb ihres Data User Programmes angeboten, die Verwendung ihrer Fernerkundungsdaten für das Wald-Reporting zum Kyoto-Protokoll zu testen. Die Schweiz will mit der Beteiligung an diesem Projekt prüfen, wie weit sie die jährliche CO₂-Bilanz des Waldes mittels objektiver Daten direkt ab Satellit automatisieren kann.

Summary

The role of the forest in the Kyoto Protocol – Estimation of carbon reserve using satellite data

Switzerland became a signatory to the climate convention in 1993 and ratified the Kyoto Protocol in 2003. This means that in the period from 2008 to 2012 the country is committed to reducing its greenhouse gas emissions by 8% compared to 1990. Switzerland has to deposit its annual greenhouse gas inventory with the Climate Convention Secretariat. This also includes accounts of the CO₂ of the forest.

Within the framework of its Data User Programme the European Space Agency (ESA) has offered to test the use of its Remote Collected Data System for forest reporting for the Kyoto Protocol. By participating in this project Switzerland aims to examine in how far it can automate its annual forest CO₂ balance using objective data taken directly from the satellite.

Translation: ANGELA RAST-MARGERISON

Résumé

Rôle des forêts dans le Protocole de Kyoto – estimation des stocks de carbone sur la base de données satellitaires

La Suisse a ratifié la Convention sur les changements climatiques en 1993 et le Protocole de Kyoto en 2003. Durant la période d'engagement 2008 à 2012, elle doit par conséquent réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 8% par rapport à 1990. Elle présentera chaque année son inventaire des gaz à effet de serre au secrétariat de la Convention sur les changements climatiques. Le bilan de CO₂ des forêts fait partie des documents à soumettre.

Dans son programme d'utilisation des données, l'Agence spatiale européenne (ESA) a proposé de tester l'emploi de ses données obtenues par télédétection pour les rapports relatifs au Protocole de Kyoto. En prenant part à ce projet, la Suisse souhaite étudier les possibilités d'automatiser le bilan annuel de CO₂ des forêts au moyen de données objectives obtenues directement par satellite.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Literatur

- 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, ETH Zürich, 86 S.
- GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T.; HUNT, C. 1975: Chemical cycles and the global environment – assessing human influences. Kaufmann, Los Altos, Calif., 206 p.
- IPCC 2000: Special Report on Land-use, land-use change and forestry. Watson, R.T.; Noble, I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D.J.; Dokken, D.J. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 377 p.
- PAULSEN, J. 1995: Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz. Rüegger, Chur, Zürich, 136 S.
- PERRUCHOUD, D.; FISCHLIN, A. 1994: The response of the carbon cycle in undisturbed forest ecosystems to climate change: A review of plant-soil models. Systems Ecology Report No. 19, Institute of terrestrial Ecology, ETH Zurich, 29 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, ETH Zurich, 213 p.
- 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.; Joos, F.; Fischlin, A.; Hajdas, I.; Bonani, G. 1999: Evaluating time scales of carbon turnover in temperate forest soils with radiocarbon data. Global Biogeochemical Cycles 13 (2): 555–573.
- PERRUCHOUD, D.; WALTHER, L.; ZIMMERMANN, S.; LÜSCHER, P. 2000: Contemporary carbon stocks of mineral forest soil in the Swiss alps. Biogeochemistry 50: 111–136.
- Steinmeier, C.; Schwarz, M.; Holecz, F.; Stebler, O.; Wagner, S. 2002: Evaluation moderner Fernerkundungsmethoden zur Sturmschadenerkennung im Wald. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 194 S.
- Volz, R.; Nauser, M.; Hofer, P. 2001: Die Klimapolitik braucht den Wald und das Holz. Wald und Holz 82, 3: 39–41.

Autoren

- Dr. JOSÉ ROMERO, Abteilung Internationales, Buwal, 3003 Bern. E-Mail: jose.romero@buwal.admin.ch.
- Dr. RICHARD VOLZ, Eidg. Forstdirektion, Buwal, 3003 Bern. E-Mail: richard.volz@buwal.admin.ch.
- Dr. MARZIO GIAMBONI, Abteilung Koordination und Ressourcen, Buwal, 3003 Bern. E-Mail: marzio.giamboni@buwal.admin.ch.
- Dr. WILLY RÜSCH, RüschiEngineering, Bahnhofstrasse 26, 5000 Aarau. E-Mail: wruesch@tiscalinet.ch.