



Forstliche Bundes-  
versuchsanstalt



# **DIE KOHLENSTOFFBILANZ DES ÖSTERREICHISCHEN WALDES UND BETRACHTUNGEN ZUM KYOTO-PROTOKOLL**

Peter Weiss, Karl Schieler, Klemens Schadauer,  
Klaus Radunsky und Michael Englisch

MONOGRAPHIEN

Band 106

M-106

Wien, 2000

## **Autoren**

Peter Weiss\*, Karl Schieler†, Klemens Schadauer†,  
Klaus Radunsky\* und Michael Englisch‡

\* Umweltbundesamt Wien

† Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Inst. f. Waldinventur

‡ Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Inst. f. Forstökologie

## **Layout**

Elisabeth Lössl

## **Titelphoto**

Felix Heckl

## **Danksagung:**

*Im Zuge des Projekts wurden die nachfolgenden Experten befragt. Die Autoren bedanken sich für wertvolle Hinweise in diesem Zusammenhang. Besonderer Dank gilt*

*Ao. Univ. Prof. DI Dr. Hubert HASENAUER, Inst. f. Waldwachstumsforschung, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Ao. Univ. Prof. DI Dr. Peter SCHWARZBAUER, Inst. f. Sozioökonomik d. Forst- und Holzwirtschaft, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Univ. Prof. DI Dr. Hubert STERBA, Inst. f. Waldwachstumsforschung, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Dr. Friederike STREBL, LA Umweltforschung, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf*

*Mag. Rosmarie WAKOLBINGER, Österreichische Bundesforste AG, Wien*

*die uns darüber hinaus Rohdaten oder unpublizierte Daten zur Verfügung gestellt haben, die für die vorliegende Studie benötigt wurden.*

*Univ. Prof. DI Dr. Gerhard GLATZEL, Inst. f. Waldökologie, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Mag. Bettina GÖTZ, Umweltbundesamt Wien*

*Univ. Prof. DI Dr. Herbert HAGER, Inst. f. Waldökologie, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Em. Univ. Prof. Dr. Gottfried HALBWACHS, Zentrum f. Umwelt und Naturschutz, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*DI Gabriele HERZOG, FFP Kooperationsabkommen Forst Papier Platte, Wien*

*DI Dr. Eduard HOCHBICHLER, Inst. f. Waldbau, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*Dr. Mathias JONAS, IIASA Laxenburg*

*OR DI Dr. Albert KNIELING, Bundesministerium f. Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien*

*Univ. Prof. Dr. Christian KÖRNER, Botanisches Institut, Univ. Basel*

*Em. Univ. Prof. DI Dr. Anton KRAPPENBAUER, Inst. f. Waldökologie, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*DI Dr. Rudolf ORTHOFER, SU Umweltplanung, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf*

*Dr. Daniel PERRUCHOUD, Nationale Wald Inventur, Schweizer Bundesinst. f. Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf*

*Univ. Prof. DI Dr. Friedrich REIMOSER, Inst. f. Wildtierkunde und Ökologie, Veterinärmedizinische Univ. Wien*

*Univ. Prof. DI Dr. Helmut RESCH, Inst. f. Holzforschung, Univ. f. Bodenkultur Wien*

*DI Manfred RITTER, Umweltbundesamt Wien*

*DI Dr. Bernhard SCHLAMADINGER, Inst. f. Energieforschung, Joanneum Research, Graz*

*DI Hannes SCHWAIGER, Inst. f. Energieforschung, Joanneum Research, Graz*

*DI Sigrid SCHWARZ, Umweltbundesamt Wien*

*Ao. Univ. Prof. DI Dr. Walter SEKOT, Inst. f. Sozioökonomik d. Forst- und Holzwirtschaft, Univ. f. Bodenkultur Wien*

## **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd)  
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Riegelnik, Wien

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2000  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-454-1

## ZUSAMMENFASSUNG

Nahezu 50 % Österreichs sind bewaldet (FBVA 1997). Dieser Anteil stellt somit einen bedeutenden Kohlenstoffvorrat in der österreichischen Landschaft und dessen Veränderung eine potentiell bedeutende Größe in der österreichischen Treibhausgasbilanz dar. Der Bedeutung des Waldes als Kohlenstoffsенke oder -quelle wird in den Berichtspflichten zur jährlichen Treibhausgasbilanz im Rahmen der Klimaschutzkonvention der Vereinten Nationen Rechnung getragen, wonach jährliche Daten zur Kohlenstoffbilanz des Waldes zu übermitteln sind. Im Zuge der Verhandlungen zum Kyoto-Protokoll, das für die Vertragsstaaten verbindliche Reduktionsziele auf Basis der Treibhausgasemissionen des Jahres 1990 vorsieht, werden als Datengrundlagen neben dem Kohlenstoffvorrat des Waldes im Jahr 1990 weitere relevante Senkendenaten verlangt – wie Vorausschätzungen zur Kohlenstoffvorratsänderung zwischen 2008 und 2012 auf „Kyoto-Artikel-3.3-Flächen“ (das sind Flächen auf denen seit 1990 eine Neu- oder Wiederbewaldung oder Rodung stattgefunden hat). Das Umweltbundesamt führte daher in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt eine Untersuchung durch, die folgende Ziele hatte: 1) Berechnung der jährlichen Kohlenstoffbilanz der Waldbiomasse zwischen 1961 und 1996 und deren Unsicherheit, 2) Abschätzung der Veränderung des Waldbodenkohlenstoffvorrates zwischen 1961 und 1996, 3) Berechnung des Kohlenstoffvorrates im österreichischen Wald im Jahr 1990 und 4) Vorausschätzungen zur Kohlenstoffbilanz der „Kyoto-Artikel-3.3-Flächen“ in der ersten Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012. Auf Basis der berechneten Daten wurden weiters die derzeitigen Vorgaben und Beschlüsse im Rahmen des Kyoto-Protokolles diskutiert.

### Methoden

Grundlage der Berechnungen stellten gemessene Daten zu Zuwachs, Nutzung und Vorrat im österreichischen Wald gemäß der österreichischen Waldinventur dar (z. B. SCHIELER et al. 1995, FBVA 1997). Aus den Mittelwerten der Inventurperioden wurden mit Indices, die aus weiteren österreichischen Statistiken und Literaturdaten (BITTERMANN und GERHOLD 1995, BMLF 1964-1998, HASENAUER et al. 1999a,b) abgeleitet wurden, die Jahreswerte für Zuwachs und Nutzung errechnet. Diese auf Vorratsfestmeter Stammholz bezogenen Daten wurden mit Konversionsfaktoren, die auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche und anhand der Baumarten- sowie Altersklassenzusammensetzung von Zuwachs und Nutzung (bzw. Vorrat) abgeleitet wurden, in t C Zuwachs und t C Nutzung (bzw. t C Vorrat) der Baumbiomasse umgewandelt.

Bei der Abschätzung der Bilanzierungsunsicherheit wurde die statistische Unsicherheit der Waldinventurdaten, die Unsicherheit aufgrund fehlender Konsistenz von Statistiken, die Unsicherheit aufgrund der Berechnung von Jahresdaten sowie die Unsicherheit jedes einzelnen Konversionsfaktors berücksichtigt.

Der Vorrat an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) im österreichischen Waldboden (Auflagehumus und Mineralboden bis 50 cm Tiefe) wurde auf Basis der Daten der österreichischen Waldbodenzustandsinventur (FBVA 1992) abgeleitet. Der  $C_{org}$ -Vorrat des Auflagehumus konnte direkt berechnet werden. Für den Mineralboden mussten die  $C_{org}$ -Konzentrationen mit Hilfe von im Gelände geschätzten Grobskelettanteilen und Literaturdaten zur Ermittlung der Bodendichte auf Kohlenstoffmassen umgewandelt werden. Da die Waldbodenzustandsinventur bislang noch nicht wiederholt wurde, wurde die Veränderung des Waldboden- $C_{org}$ -Vorrates zwischen 1961 und 1996 anhand vereinfachter Modellansätze geschätzt. Aufgrund der Unsicherheit der verwendeten C-Abbauzeiten im Boden wurden lediglich die Nettoänderungen von C-Flüssen zum bzw. vom Waldboden in den Berechnungen berücksichtigt. Diese umfassen die Zunahme der Waldfläche, des Streufalls und der Temperatur sowie die Änderung zahlreicher Bewirtschaftungspraktiken.

## **Ergebnisse**

Der österreichische Wald repräsentierte im Jahr 1990 einen Kohlenstoffvorrat von  $783 \pm 190$  Mt C (Waldbiomasse:  $320 \pm 42$  Mt C; Waldboden:  $463 \pm 185$  Mt C) und somit den mit Abstand größten Kohlenstoffspeicher in der österreichischen Landschaft (vgl. KÖRNER et al. 1993). Dieser Vorrat entspricht in etwa 40 österreichischen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O im Jahr 1990 (vgl. RITTER 1999). Der Vergleich belegt, wie wichtig eine vorratsnachhaltige und bodenschonende Waldbewirtschaftung sowie generell die Erhaltung und der Schutz des Waldes im Zusammenhang mit der Treibhausproblematik waren und bleiben.

Die vorliegende Studie ergab weiters, dass der österreichische Wald im Zeitraum 1961 bis 1996 eine Nettokohlenstoffsенke war. Die mittlere jährliche Nettokohlenstoffbindung der Waldbiomasse betrug in diesem Zeitraum 2.527 kt C (9.267 Gg CO<sub>2</sub>) mit einem Jahresminimum von 1.014 kt C und einem Jahresmaximum von 3.689 kt C (Unsicherheit  $\pm 748$  kt C). Für den Zeitraum 1980 bis 1996 entspricht diese Nettokohlenstoffbindung etwa 14 % der gesamten österreichischen Brutto-CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O (RITTER 1999). Um diese beachtliche Größenordnung vermindert Österreichs Wald die nationale Netto-CO<sub>2</sub>-Äquivalentemission (Quellen minus Senken) bzw. den nationalen Beitrag zum zusätzlichen Treibhauseffekt im Zeitraum 1980 bis 1996. Österreichs CO<sub>2</sub>-Emissionen sind derzeit etwa viermal so hoch wie der maximal akzeptable Weltdurchschnitt für eine Stabilisierung des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalts (UMWELTBUNDESAMT 1996). Selbst wenn man die nicht verwirklichte Annahme unterstellt, dass eine Nettokohlenstoffbindung durch die Waldbiomasse wie in den vergangenen Jahren auch nachhaltig möglich wäre, bräuchte Österreich eine etwa fünfmal so große Waldfläche wie derzeit, um den maximal akzeptablen Weltdurchschnitt zu erreichen. Österreichs Wald nimmt aber bereits jetzt die Hälfte des Bundesgebietes ein. Der dargestellte Vergleich belegt sehr eindrucksvoll, wie wenig nachhaltig derzeit in den hauptverantwortlichen Sektoren in Bezug auf Treibhausgasemissionen (aber auch mit nicht erneuerbaren Ressourcen wie fossilen Brennstoffen) gewirtschaftet wird. Eine Reduktion dieser Emissionen ist somit unumgänglich, um bezüglich des anthropogenen Treibhauseffekts das Prinzip der Nachhaltigkeit zu verwirklichen.

Anhand von modellhaften Abschätzungen wird vermutet, dass auch der österreichische Waldboden im Zeitraum 1961 bis 1996 eine Nettokohlenstoffsенke war, und zwar in der Größenordnung von 10 % der Nettokohlenstoffbindung durch die Waldbiomasse in diesem Zeitraum. Von den umfassend berücksichtigten Einflussfaktoren dürfte die Zunahme des Streufalls durch den angestiegenen Vorrat, die Zunahme des am Standort verbleibenden Schlagabraumes durch den Anstieg der Nutzungen (beide in positive Richtung) und die Temperaturzunahme um 0,5 °C (in negative Richtung) den größten Einfluss auf die Veränderung des Waldbodenkohlenstoffpools gehabt haben. Allerdings sind diese Werte mit einer gewissen Unsicherheit behaftet – die durchgeführten Berechnungen können Untersuchungsprogramme zur Veränderung des bedeutenden Waldbodenkohlenstoffpools und zu den diesbezüglichen Einflussfaktoren nicht ersetzen.

## **Ergebnisse mit Bezug zum Kyoto-Protokoll**

Im Unterschied zum gesamten österreichischen Wald können die österreichischen Flächen nach Kyoto-Artikel 3.3 (Neu-, Wiederbewaldung oder Rodung seit 1990) – abhängig von den herangezogenen Definitionen und Buchungsmodalitäten – entweder eine, wenn auch kleine, Kohlenstoffquelle oder -senke im ersten Verpflichtungszeitraum 2008 bis 2012 darstellen, obwohl in Österreich der Waldflächenzugang seit mehreren Jahrzehnten größer ist als der Waldflächenabgang. Dies ist bei nahezu allen Staaten der Fall, die als „Annex-I-Staaten“ des Kyoto-Protokolls (das sind im wesentlichen die Industrienationen) zur Reduktion der Treibhausgasemissionen verpflichtet sind. Die wichtigste Ursache, dass die Kyoto-Artikel-3.3-Flächen Österreichs eine Quelle darstellen könnten, ist darin zu sehen, dass im Zeitraum 2008 bis 2012 die Kohlenstoffmasse der gerodeten (bzw. abgetriebenen) Bestände höher ist

als der Kohlenstoffzuwachs der noch jungen Bestände auf den Neuaufforstungs- und Wiederaufforstungsflächen seit 1990. Die verlässlichste Methode, um diese Situation zu verbessern, ist es, den Waldflächenabgang künftig so gering wie möglich zu halten.

Über Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls ist es prinzipiell möglich, weitere Aktivitäten im Landnutzungssektor bei der Einrechnung der Treibhausgasreduktionsziele zu berücksichtigen. Hier sind allerdings erst die Ergebnisse der Vertragsstaatenverhandlungen abzuwarten.

In den Schlussfolgerungen der vorliegenden Studie wird gezeigt, dass einer umfassenden Anrechenbarkeit von C-Senken zur Erreichung der ausgewiesenen Kyoto-Reduktionsziele eine Reihe von Problemen gegenüberstehen:

- 1) Für alle Annex-I-Staaten des Kyoto-Protokolls, deren Landnutzungssektor im Jahr 1990 eine Kohlenstoffsenke darstellte (das sind fast alle Annex-I-Staaten), werden zur Berechnung der erforderlichen Treibhausgasreduktionen die Bruttoemissionen des Jahres 1990 – welche die Senken nicht beinhalten! – herangezogen. Da die prozentuellen Reduktionsziele bereits festgelegt sind, erlaubt jede Anrechenbarkeit von Senken zum Erreichen der Reduktionsziele höhere Treibhausgasemissionen in anderen Sektoren – etwa jener, die auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe zurückzuführen sind. Es wurde gezeigt, dass die Senken eine ähnliche Größenordnung aufweisen wie die gesamten vereinbarten Reduktionsziele.
- 2) Die Unsicherheit der ausgewiesenen Senkendaten sind von den Messmethoden abhängig, stellen aber in jedem Fall – verglichen mit den vereinbarten Reduktionszielen – eine bedeutende Größe dar. Damit würde sich mit großer Wahrscheinlichkeit die Situation ergeben, dass ein Erreichen der Reduktionsziele nicht mehr fundiert nachweisbar bzw. verifizierbar ist (siehe JONAS et al. 2000).
- 3) Die Kohlenstoffsenken sind nicht permanent wirksam. Ihr Verlust zu einem späteren Zeitpunkt würde eine C-Quelle darstellen. Im Unterschied dazu stellt jedoch jede Reduktion der Treibhausgasemissionen von fossilen Brennstoffen oder jede Substitution fossiler Brennstoffe durch nachhaltig produzierte Biomasse eine dauerhafte Nettoerleichterung der atmosphärischen Treibhausgasbilanz dar (siehe SCHLAMADINGER und MARLAND 2000).
- 4) Eine Anrechenbarkeit von Senken könnte zu einer Ungleichbehandlung von Vertragsparteien führen. Das Kyoto-Protokoll sieht als Bezugsjahr 1990 vor. Es wird somit immer jene Vertragspartei größere Substitutionspotentiale durch Senken zur Verfügung haben, die die Kohlenstoffvorräte in der Landschaft vor 1990 stärker verringert hat – egal ob ein Teil oder der gesamte Landnutzungssektor anrechenbar wird.
- 5) Auf Basis von fundamentalen Grundlagen der Ökologie wird daher kritisch hinterfragt, warum jegliche Aufstockung von Kohlenstoffvorräten in der terrestrischen Ökosphäre als Treibhausgasemissionsreduktion im Kyoto-Protokoll anrechenbar sein soll. Die Autoren vertreten die Ansicht, dass dies nicht mehr als ein Ersatz zu früheren CO<sub>2</sub>-Nettoemissionen aus der Ökosphäre in die Atmosphäre (durch Rodungen, wenig nachhaltige Bewirtschaftung, Ökosystemumwandlungen, etc.) darstellt.

Die Autoren empfehlen daher folgende Option – allerdings nur als Ganzes – als künftiges Ziel eines fundierten Kyoto- oder Post-Kyoto-Prozesses:

- Eine globale und vollständige Treibhausgasbilanz (inkl. vollständiger Import-/Exportbilanz)
- Reduktionsziele, die einer Vermeidung unerwünschter Klimaänderungsfolgen und einer Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit (auch bezüglich Ressourcen) gerecht werden
- Volle Einrechnung von Kohlenstoffvorratsreduktionen bzw. Treibhausgasemissionen, jedoch keine Anrechenbarkeit von Kohlenstoffvorraterhöhungen im Landnutzungssektor zum Erreichen der Reduktionsziele – es sei denn, frühere Kohlenstoffvorratsreduktionen in diesem Sektor sind ausreichend in den Reduktionszielen der Vertragsparteien berücksichtigt.

# **THE CARBON BALANCE OF THE AUSTRIAN FORESTS BETWEEN 1961-1996 AND SOME REFLECTIONS ON THE KYOTO PROTOCOL**

## **EXTENDED SUMMARY**

About 50 % of Austria is forest land (FBVA 1997) which constitutes an important portion of the Austrian carbon stock. To get a clear image of this stock and of its change over time a project was started by the Federal Environment Agency in collaboration with the Federal Forest Research Centre. The main objectives are: 1) estimate of the annual carbon balance of the above and below ground biomass in Austrian forests between 1961 and 1996, 2) estimate of the carbon stock of the Austrian forests in 1990, 3) analysis of the uncertainty of these data, 4) estimate of the change in the forest soil C pool between 1961 and 1996 and 5) estimate of the possible C source or sink according to Kyoto Protocol Art. 3.3. The project also provides and discusses data to be reported under the UN-FCCC and the Kyoto process.

### **Methodological approach**

The main basis of these calculations were measured data on forest area, increment, harvest and stock of stemwood (> 5 cm dbh) according to the Austrian National Forest Inventory – “NFI” (see Tab. 1; SCHIELER et al. 1995, FBVA 1997, WINKLER 1997). The NFIs were carried out in the periods 1961 to 1970, 1971 to 1980, 1981 to 1985, 1986 to 1990 and 1992 to 1996. Since 1981 the NFI uses a 4 x 4 km grid with four permanent sample plots of 300 m<sup>2</sup> size at each grid point. The mean annual increment and harvest according to NFI were converted with indices which were derived from national statistics and literature data (BITTERMANN and GERHOLD 1995, BMLF 1964-1998, HASENAUER et al. 1999a,b) to get annual data of increment and harvest. The same literature was used to estimate increment and harvest for missing years within the NFIs. Using conversion factors (Tab. 2 - Tab. 5) from a comprehensive literature survey t C increment, t C harvest and t C stock of the whole trees were calculated separately according to the species and age class composition.

The calculation of the uncertainty of the C balance of the Austrian forest biomass took into account (Tab. 6):

- the statistical uncertainty of the forest inventory,
- the uncertainty related to the calculation of annual data,
- the uncertainty related to the missing consistency of different statistics<sup>1</sup>
- and the uncertainty of each conversion and expansion factor.

Therefore the estimates of the uncertainty include both a bottom up and a top down approach to ensure consistency. Because of the differing quality of the data classical statistical approaches (the use of standard errors of means or 95 % confidence intervals) were not always adequate. For instance, the uncertainties of the conversion factors were estimated in a pragmatic as well as conservative way. Such an approach takes into account that the conversion factors were not measured by a systematic inventory (like NFI) but derived from few, local ecosystem studies (expansion factors) and literature data on wood densities and C contents. Therefore the uncertainty related to these conversion factors is comparably higher

---

<sup>1</sup> e.g.: there are three different Austrian statistics for annual harvest: measured harvest according to NFI, national annual records of wood felled and the national wood balance

than the one of the systematically measured stemwood volume of increment and harvest (Tab. 6). Error propagation was used to calculate the overall uncertainty.

The C-stock of the Austrian forest soils was calculated by using data of the Austrian forest soil survey (humus layers and mineral soil layers 0-50 cm were sampled at the grid points of an 8.7 x 8.7 km grid across all Austria; FBVA 1992). The humus layers were taken with defined volume, the mineral soil layers not. So, literature data were used to estimate the density of the mineral soil and to calculate the mass of C bound in the mineral soil of the Austrian forests. No reassessment has taken place, so simplified modelling approaches were used to estimate the C stock change of the Austrian forest soils in the period 1961 to 1996. In order to reduce the uncertainty related to the used decomposition rates of organic matter and turn-over times of mineral soil C, only the net changes of influencing factors on the soil C stock were taken into consideration. With respect to these net changes, the increase of the Austrian forest area, the changing management practices, the increase in litter-fall and temperature changes (+0.5 °C during the period 1961-1996) etc. were considered.

## **Results**

In 1990 the Austrian forests (3.9 Mio. ha) represented a C-stock of  $320 \pm 42$  Mt C (biomass) and  $463 \pm 185$  Mt C (soil, i.e. humus layer plus mineral soil to 50 cm depth). This C stock (biomass plus soil) represents about 40 times the Austrian CO<sub>2</sub> equivalent emissions of the greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in the year 1990. In other words, if the C stocks of the Austrian forests were not sustained in the past, Austria would have had released an amount of CO<sub>2</sub> from the forests to the atmosphere which equals 40 times the annual Austrian GHG emissions.

In the period 1961 to 1996 changes in the Austrian forest biomass led to a mean annual net C sink of 2,527 kt C (from 1,014 kt C to 3,689 kt C with an uncertainty of 748 kt C; Abb. 7). Between 1980 and 1996 the Austrian forest biomass was a net C sink which equals to 14 % of the gross CO<sub>2</sub> equivalent emissions of the GHGs CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in this period (emission data in RITTER 1999). The reasons for this net C sink were less harvest than increment each year. One of the remarkable results corroborated by the fundamentals of primary production was that C increment of the whole trees per ha was about the same for conifers and deciduous trees (Abb. 5; age class distribution is about the same for both). Conifers, in particular the dominating Norway spruce in the Austrian forests, have a higher volume increment per ha of stemwood than the deciduous species (SCHIELER et al. 1995, FBVA 1997). However, the wood densities of the native deciduous species are higher than those of the coniferous species (Tab. 2) which explains the equal C increments per ha.

Even if this annual net C sink of the Austrian forests would last – which is not practical – Austria would need five times the present Austrian forest area and the corresponding net C sink to balance the Austrian GHG emissions at a sustainable level (i.e. stabilisation of the atmospheric GHG concentrations by Austria). However, the present Austrian forest area already represents about 50 % of the country. This comparison clearly outlines the indispensable need for a reduction of the GHG emissions from fossil fuels.

It was estimated that the Austrian forest soils were also a net C sink between 1961 and 1996 (of about 10 % of the net C sink of the forest biomass in this period). From the results of the estimates the increase in litterfall and harvest (more slash and dead biomass remaining at site) in the past decades seems to have contributed most to the increase in the C pool of the forest soils, while the higher mean temperature in these decades (+0.5 °C) might have lowered substantially the increase in this pool (Tab. 11). However, these results have to be considered as hypothetical as they cannot be confirmed by measurements. Studies on this subject therefore seem to be indispensable.

### **Some reflections on the uncertainty**

The uncertainty of sinks data is a frequently discussed topic within the Kyoto-Process. There is reasonable concern that the uncertainty of measured or calculated data on C-stock changes in the land use sector might be high compared to the reduction targets of the Kyoto-protocol. It is therefore mentioned that a use of sinks to reach the reduction targets might cause considerable uncertainty whether the reduction targets were really reached. To support the decision finding process related to this topic the following results of the present study on the uncertainty of the forest C sink are given.

The Austrian forest soils represent an important C stock of the Austrian forests (see figures above) and need therefore to be included in each C balance. If a methodological approach for an Austrian forest soil survey was designed which would reach an uncertainty of  $\pm 1\%$  (please note: this would need considerable efforts), the uncertainty of the C stock data of this survey would already represent twice the Austrian reduction targets.

Much less problematic in relation to the Kyoto reduction targets is the uncertainty of the forest biomass data. The Austrian NFI provides excellent data – measured data on increment and harvest – which allow a profound calculation of the C balance and circumvent problems related to high absolute uncertainties when using stocks and reported data on harvest for the estimate. Nevertheless, the uncertainty of the present Austrian forest biomass C balance represents already a quarter of the reduction targets of the Kyoto Protocol. Most of this uncertainty is related to the conversion factors<sup>2</sup> and the lacking consistency of different statistics on harvest (reported annual records on harvest, harvest according to the wood balance and measured harvest according to NFI). Hence, an estimate of the uncertainty of sinks which is based on only one statistics results very likely in an underestimate of the real uncertainty of the reported data<sup>3</sup>.

These examples clearly show that 1) a comprehensive estimate of the uncertainties related to C-stock changes in the land use sector is necessary, 2) the numeric uncertainties need to be included in the overall C balance and 3) a use of sinks to reach the present Kyoto GHG reduction targets could end up in a situation where evidence or a verifiability of a real emission reduction according to the assigned amounts cannot be given (see also JONAS et al. 2000).

### **Results and discussion related to the Kyoto Protocol and process**

In spite of the fact that the Austrian forests have been a significant C sink and the Austrian forest area has steadily increased in the past decades, Austrian Kyoto Article 3.3 lands (af-/ reforestation, deforestation since 1990; UN-FCCC 1997) might be a relatively small C sink or even a source in 2008 to 2012; this will depend on the definitions, scenarios and accounting rules (Tab. 12, Tab. 7 - Tab. 9).

This unbalanced accounting and/or crediting/debiting of sinks has caused a lot of discussion within the Kyoto process. For all countries whose land use, land use change sector was a sink in 1990 the gross emissions in this year (which do not include the CO<sub>2</sub> sink) are the basis for the calculation of the reduction targets. So any use of sinks to reach the reduction targets might reduce the GHG emission reduction targets related to fossil fuels. As outlined by the IPCC (2000) this might be a substantial amount which is of the same order of magnitude as the present reduction target (5,2%) for Annex I Parties. For instance, the figures above show that a use of the Austrian forests to reach the reduction target could lead to the situation that Austria could even increase its fossil fuel related GHG emissions above the emissions of the year 1990 in the first commitment period provided the appropriate decisions related to Article 3.4 of the Kyoto-Protocol (“additional activities in the land use sector”). If forest management practices were included in the Kyoto protocol via Article 3.4 it would be

---

<sup>2</sup> An improvement of these data and their uncertainty would need considerable efforts

<sup>3</sup> For several regions of the world not even one statistics is available.



important to require that the C sink of the Austrian forests is additional compared to usual or previous Austrian management practices. This is a rather simple venture because each harvest is management driven. Therefore, each reduction of harvest could be counted as an altered or additional management practice which – thanks to the photosynthesis - leads to an increase in carbon stock, at least in the short term<sup>4</sup>. This example outlines several problems related to the use of sinks for achieving of the reduction targets: 1) The potential contribution of sinks to the reduction targets might be high and could undermine the main goal of the Kyoto-Protocol<sup>5</sup>, 2) the sinks in the land-use sector might be lost at a later stage, which would result in greenhouse gas emissions from sinks (no permanence of sinks)<sup>6</sup>, 3) a lack of a global full C balance could result in leakage and 4) the more the former land use practices have led to a lower C stock, the more credits might be achieved by an inclusion of sinks under the Kyoto protocol. In the following paragraphs the latter issue is discussed in more detail.

The Kyoto protocol includes the “since 1990” limit which does not allow to give credits (more exactly less debits) to the sustainable use of forests in the past. With regard to the crediting of sinks in the Kyoto Protocol this “since 1990” limit could represent a major source of inequity of the Kyoto Protocol and the related decisions. Austria belongs to the countries with a very high area percentage of forest lands (about 50 %). Nevertheless, imagine a party “Austria X” exists, which equals real Austria, but has 90 % of its area still stocked by forests. It is obvious that in the past the party “Austria X” would have had contributed much less to the increase of the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration from the land use sector than real Austria. However, the “reduction potential” of GHG emissions due to af-/re-forestation and therefore the possibility to get credits under the Kyoto protocol (Article 3.3) would be much higher for real Austria than for “Austria X”. It becomes clear that “Kyoto Article 3.3 winners” are countries with a high deforestation in the past, the land-use sector of these countries releasing more CO<sub>2</sub> to the atmosphere in former times.

An inclusion of all forests in the Kyoto Protocol via Article 3.4 cannot circumvent this problem of inequity which is demonstrated by the following example: Consider a party “Austria Y” which is equal to real Austria but had a less sustainable forest management before 1990. This caused a comparable lower carbon stock at the same forest area which equals – as an example – 50 % of the present carbon stock of real Austria. The CO<sub>2</sub> emission of “Austria Y” due to less sustainable forest management practices in the past would have been much higher than the one of real Austria. However, if forest management practices were included under Article 3.4 “Austria Y” would have a much higher - virtual (see above) - “reduction potential” for GHG emissions due to forest management practices and could gain more credits according to the Kyoto Protocol than real Austria, whose carbon stock on the forest lands is closer to the equilibrium.

Like in many other countries of the Northern hemisphere increment increased in Austria in the past decades (NEUMANN and SCHADAUER 1995, SPIECKER et al. 1996). The global C balance gives evidence for a residual terrestrial C uptake in the last years in the order of  $2.3 \pm 1.3$  Gt C per year (IPCC 2000). At present there are – related to the Kyoto process – several speculations to which extent these increases might be caused by altered forest management activities<sup>7</sup>. LUGO and BROWN (1993), PHILLIPS et al. (1998) and SCHULZE et al. (1999) found C stock increases in pristine forest ecosystems of Siberia and Amazonia. There is evidence from a comprehensive Austrian study that the increase in diameter increment of stemwood in

---

<sup>4</sup> Please note that the Kyoto-Protocol does not require a full C accounting and does not include all countries which means that – for instance – reduced harvest at Kyoto-lands might be compensated by more harvest at non Kyoto-lands without being reflected in any C balance.

<sup>5</sup> The problems associated with the uncertainties of sinks data have been discussed in a previous section

<sup>6</sup> This argument is of major relevance. It outlines that a fundamental difference exists between the release of fossil and inactive bound C into the C cycle by the use fossil fuels and temporary reduction measures undertaken within the cycle (enhanced C uptake by sinks)

<sup>7</sup> Several countries would not accept a crediting of indirect human effects like enhanced stock increases caused by climate change, CO<sub>2</sub> fertilisation or N deposition within the Kyoto Protocol.

Austria in the last decades was related to an increase in the length of the temperature controlled growing period (HASENAUER et al. 1999a,b). Increment is of course basically driven by the site conditions as well as sun energy. Nevertheless, increment can be heavily influenced by the management practices in the forests (length of rotation period, choice of species, fertilisation etc.). However, it has not been proven so far that management practices can lead to a higher carbon stock than the potential natural equilibrium carbon stock at the same lands without any human intervention.

These examples demonstrate that fair inclusion and scientifically sound treatment of sinks within the Kyoto process needs a view on past uses and management practices in the land use sector. There are several options to circumvent the problem of inequity related to sinks in the Kyoto Protocol. One option could be that any increase of carbon stocks in the land use sector is not accounted for, however, any reduction of these carbon stocks is fully debited. This option is scientifically sound if the fundamentals of primary production and ecology are taken into consideration. Without any human intervention each terrestrial ecosystem would develop towards its own specific equilibrium C stock or would be already in equilibrium. The equilibrium C stock is defined as the maximum to be reached under natural conditions. In principle, the human induced increase of carbon stock on land units cannot go beyond the carbon stock of the potential natural vegetation (and ecosystem). Any going beyond – if possible – would be short-term, artificial, based on additional energy input (as fertilisers, pesticides etc.) and might be conflicting with the principles of sustainable development and the objectives of the biodiversity convention. Man has been a further user of the primarily produced energy of terrestrial ecosystems (or of the land). In the past and present the interventions of man have been partly tremendous and led to C stocks and C densities per ha which are far below the potential ones in several parts of the world<sup>8</sup>. The carbon has been lost to the atmosphere. Following the concept of the equilibrium carbon stock any present human activity to increase the terrestrial carbon stocks is a way to balance these historic carbon releases to the atmosphere from the land management sector. So, why give any credits for carbon stock increases in the land use sector and why should these carbon stock increases give allowance to reduce less of the GHG emissions from fossil fuels? It is already one of several benefits that higher biomass stocks at the afforested or reforested land areas will be usable in the future to – for instance – substitute fossil fuels (see for instance SCHLAMADINGER and MARLAND 2000). However, the reverse – a full accounting and debiting of a decrease in carbon stocks – would be a clear incentive for a more sustainable land use and a future wise use of the harvested biomass.

It will be one of the major challenges in the future of the Kyoto process to develop accounting and crediting/debiting rules and reduction targets which are fair, scientific sound and based on the fundamentals of life on earth which will be always based on the primary production of plants. The Kyoto protocol is probably the first environmental process which touches these fundamentals, at least indirectly. Therefore it is of utmost importance to include the land use sector adequately into future decisions related to the Kyoto protocol. In the opinion of the authors this can be done by a global full carbon accounting (including import/export balances<sup>9</sup>), adequate reduction targets to prevent unintended climate change outcomes and to allow a human development towards sustainability, full debiting of any carbon stock reductions and GHG emissions, however, no crediting of any carbon stock increases in the land use sector - unless past C stock reductions in the land use sector are reflected adequately in the reduction targets of the parties.

---

<sup>8</sup> According to IPCC (2000) land use changes caused emissions in the order of 60 Gt C before 1850 and in the order of 121 Gt C between 1850 and 1990. Before 1950 most of these emissions were related to deforestations in the mid- and high-latitudes of the northern hemisphere, while after 1950 the losses of tropical forests contributed most to these emissions.

<sup>9</sup> A sound import/export balance would probably need to add the land-, production- and transport-based greenhouse gas emissions to the imported or exported goods and an accounting of travel based greenhouse gas emissions in the balances of the travellers' countries of origin.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>EXTENDED SUMMARY</b> .....	<b>6</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>11</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>13</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>14</b>
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	<b>15</b>
<b>LIST OF TABLES</b> .....	<b>16</b>
<b>GLOSSAR, GLOSSARY</b> .....	<b>17</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>19</b>
<b>2 METHODEN</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 Berechnungen zur jährlichen Kohlenstoffbilanz der Biomasse des österreichischen Waldes</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 Ausgangsdaten.....	20
2.1.2 Behandlung fehlender Jahre und Perioden in der Waldinventur und Umwandlung der Periodenmittelwerte in Jahresdaten .....	22
2.1.2.1 Behandlung fehlender Jahre und Perioden in der Waldinventur.....	22
2.1.2.2 Umwandlung der Periodenmittelwerte für Zuwachs und Nutzung in Jahresdaten.....	24
2.1.2.3 Umwandlung der Periodenmittelwerte für die Nadel- und Laubholzanteile von Zuwachs und Nutzung in Jahresdaten.....	27
2.1.2.4 Aufgliederung der Nutzungsdaten in Nutz- und Brennholz .....	28
2.1.3 Konversionsfaktoren .....	28
2.1.4 Unsicherheiten .....	34
2.1.4.1 Ausgangsdaten der Österreichischen Waldinventur.....	34
2.1.4.2 Abgeleitete Werte und Konversionsfaktoren.....	34
2.1.4.2.1 <i>Unsicherheit der Werte für Perioden ohne Waldinventurergebnisse und der auf Einzeljahre heruntergebrochenen Werte für Zuwachs und Nutzung</i> .....	35
2.1.4.2.2 <i>Unsicherheit des Konversionsfaktors „Vorratsfestmeter in Rinde → t Trockenmasse“</i> .....	36
2.1.4.2.3 <i>Unsicherheit des Konversionsfaktors „t Trockenmasse Schaftholz → t Trockenmasse Gesamtbaum“</i> .....	36
2.1.4.2.4 <i>Unsicherheit des Konversionsfaktors „t Trockenmasse → t Kohlenstoff“</i> .....	37
2.1.4.2.5 <i>Unsicherheit der Werte für die Kohlenstoffbindung durch den Zuwachs, die Kohlenstofffreisetzung durch die Nutzung und die Nettokohlenstoffbilanz</i> .....	38
<b>2.2 Abschätzungen zur möglichen Kohlenstoffveränderung im österreichischen Waldboden</b> .....	<b>39</b>
2.2.1 Änderungen aufgrund der Zunahme des Streufalls und Totwurzelanfalls .....	39

2.2.2	Änderungen aufgrund der Einstellung historischer Waldnutzungsformen .....	40
2.2.2.1	Bodenstreunutzung .....	41
2.2.2.2	Schneitelstreunutzung .....	42
2.2.2.3	Harznutzung .....	42
2.2.3	Änderungen aufgrund des Einflusses von Wild und Weidevieh .....	42
2.2.4	Änderungen aufgrund der Zunahme der Nutzungen .....	43
2.2.5	Änderungen aufgrund der Einstellung der Entrindung vor Ort.....	44
2.2.6	Änderungen aufgrund der Kahlschlagnutzungen .....	44
2.2.7	Änderungen aufgrund von Temperaturerhöhungen .....	44
<b>2.3</b>	<b>Berechnungen zum Kohlenstoffvorrat im österreichischen Wald im Jahr 1990 ....</b>	<b>46</b>
2.3.1	Berechnungen zum Kohlenstoffvorrat in der österreichischen Waldbiomasse .....	46
2.3.2	Berechnungen zum Kohlenstoffvorrat im österreichischen Waldboden.....	47
<b>2.4</b>	<b>Abschätzungen zur Kohlenstoffbilanz der österreichischen „Kyoto-Flächen“ gemäß Artikel 3.3 des Kyoto Protokolls .....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1</b>	<b>Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes .....</b>	<b>56</b>
3.1.1	Kohlenstoffvorrat im Jahr 1990 .....	56
3.1.2	Jährliche Kohlenstoffbilanz der Biomasse des österreichischen Waldes im Zeit- raum 1961 bis 1996 .....	56
3.1.3	Überlegungen zur möglichen Kohlenstoffveränderung im österreichischen Wald- boden.....	68
3.1.3.1	Änderungen aufgrund der Zunahme der Waldfläche.....	68
3.1.3.2	Änderungen aufgrund der Zunahme des Streufalls und Totwurzelanfalls .....	69
3.1.3.3	Änderungen aufgrund der Einstellung historischer Waldnutzungsformen .....	69
3.1.3.4	Änderungen aufgrund der Zunahme der Nutzungen.....	70
3.1.3.5	Änderungen aufgrund der Einstellung von Entrindung vor Ort.....	70
3.1.3.6	Änderungen aufgrund von Kahlschlagnutzungen.....	70
3.1.3.7	Änderungen aufgrund der Zunahme des Holzbodens außer Ertrag .....	71
3.1.3.8	Änderungen aufgrund von höheren Temperaturen.....	71
3.1.3.9	Zusammenfassende Darstellung der Abschätzungen zur möglichen Veränderung des Kohlenstoffvorrates im österreichischen Waldboden.....	74
<b>3.2</b>	<b>Abschätzungen zur Kohlenstoffbilanz der österreichischen „Kyoto-Flächen“ gemäß Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls.....</b>	<b>75</b>
3.2.1	Einleitende Bemerkungen zum Kyoto-Protokoll .....	75
3.2.2	Die Kohlenstoffbilanz der österreichischen „Kyoto-Flächen“ gemäß Artikel 3.3 des Kyoto Protokolls unter verschiedenen Definitionsszenarien und Buchungs- ansätzen .....	78
<b>4</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1</b>	<b>Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes .....</b>	<b>84</b>
<b>4.2</b>	<b>Zur Frage der Unsicherheiten .....</b>	<b>85</b>
<b>4.3</b>	<b>Abschätzungen zur Kohlenstoffbilanz der österreichischen Kyoto-Flächen unter Artikel 3.3 und Diskussion zur Berücksichtigung von Senken im Rahmen des Kyoto-Protokolls .....</b>	<b>86</b>
<b>5</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>90</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Beziehung zwischen dem mittleren laufenden Periodenzuwachs je ha für Nadelholz bzw. Laubholz gemäß Waldinventur und den mittleren Jahrringindices für Fichte für die Perioden 76/80, 86/90 und 92/96.....	23
Abb. 2: Beziehung zwischen der mittleren jährlichen Nutzung gemäß Waldinventur und der mittleren jährlichen Nutzung gemäß Holzeinschlagsmeldung für die Perioden 61/70, 86/90 und 92/96. ....	24
Abb. 3: Beziehung zwischen der berechneten jährlichen Nutzung gemäß Waldinventur und der jährlichen Nutzung gemäß Holzbilanz sowie zwischen der jährlichen Nutzung gemäß Holzbilanz und der jährlichen Nutzung gemäß Holzeinschlagsmeldung. ....	26
Abb. 4: Schema zur Berechnung der jährlichen Kohlenstoffbindung durch den Zuwachs, der jährlichen Kohlenstofffreisetzung durch die Nutzung sowie der jährlichen Nettokohlenstoffbindung oder -freisetzung der Biomasse des österreichischen Waldes.....	33
Abb. 5: Jährlicher mittlerer Gesamtbaumbiomassezuwachs je Hektar der Nadelbäume und der Laubbäume des österreichischen Waldes.....	60
Abb. 6: Jährliche Kohlenstoffbindung durch den Zuwachs und jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Nutzung im österreichischen Wald.....	61
Abb. 7: Jährliche Nettokohlenstoffbindung oder -freisetzung durch den österreichischen Wald.....	62
Abb. 8: Jährliche Netto-CO <sub>2</sub> -Bindung oder -Freisetzung durch den österreichischen Wald.....	63
Abb. 9: Jährliche Kohlenstoffbindung durch den Nadelbaumzuwachs und jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Nadelholznutzung im österreichischen Wald.....	64
Abb. 10: Jährliche Kohlenstoffbindung durch den Laubbaumzuwachs und jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Laubholznutzung im österreichischen Wald.....	65
Abb. 11: Jährliche Nettokohlenstoffbindung oder -freisetzung durch den Nadel- und durch den Laubwaldanteil im österreichischen Wald.....	66
Abb. 12: Jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Nadel- und Laubholznutzung im österreichischen Wald getrennt nach Nutz- und Brennholz.....	67
Abb. 13: Geschätzte Veränderung des Vorrats an rasch abbaubarem Kohlenstoff je ha im österreichischen Waldboden ohne Temperaturerhöhung und unter Berücksichtigung einer um 0,5 °C höheren Temperatur im Zeitraum 1961 bis 1996 nach Szenario 1 und Szenario 2. ....	72
Abb. 14: Geschätzte Veränderung des Vorrats an rasch abbaubarem Kohlenstoff im österreichischen Ertragswaldboden ohne Temperaturerhöhung und unter Berücksichtigung einer um 0,5 °C höheren Temperatur im Zeitraum 1961 bis 1996 nach Szenario 1 und Szenario 2. ....	73

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Fläche, Vorrat, Zuwachs und Nutzung des österreichischen Waldes in den einzelnen Waldinventurperioden. ....	21
Tab. 2: Minimale, mittlere und maximale Rohdichten bei 0 % Feuchte und Volumenschwund bei Abnahme der Holzfeuchtigkeit von Fasersättigung auf 0 %.....	29
Tab. 3: Konversionsfaktoren „t TM Schaftholz → t TM Gesamtbaum“ und Standardabweichung für die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche getrennt für einzelne Altersklassen sowie Zuwachs und Nutzung.....	31
Tab. 4: Kohlenstoffgehalte von einzelnen Holzarten, Rinde und Blätter/Nadeln. ....	32
Tab. 5: Konversionsfaktoren für den österreichischen Wald zur Umwandlung der Vorratsfestmeter in Rinde von Zuwachs und Nutzung in Tonnen Kohlenstoff .....	32
Tab. 6: Relative Unsicherheiten der Eingangsgrößen in die Berechnung der Kohlenstoffbilanz.....	38
Tab. 7: FAO- und IPCC-Definitionsszenario für „forest“, „afforestation“, „reforestation“ und „deforestation“ gemäß IPCC .....	50
Tab. 8: Theoretisch mögliche Buchungsmodalitäten gemäß IPCC aufgrund der Formulierungen von Artikel 3.3.....	51
Tab. 9: Ausgangsdaten auf Basis der Waldinventuren 86/90 und 92/96 und Konversionsfaktoren zur Berechnung der Kohlenstoffbindung und -freisetzung der Biomasse von „afforestation“- , „reforestation“- und „deforestation“-Flächen ...	53
Tab. 10: Kohlenstoffvorrat im österreichischen Wald im Jahr 1990.....	56
Tab. 11: Schätzwerte zur möglichen Veränderung des Waldbodenkohlenstoffvorrats in Österreich im Jahr 1996 gegenüber 1961 sowie im Jahr 1996 gegenüber 1990 und Gegenüberstellung der mittleren jährlichen Nettokohlenstoffbindung bzw. -freisetzung des österreichischen Waldbodens mit der mittleren jährlichen Nettokohlenstoffbindung durch die österreichische Waldbiomasse im Zeitraum 1961 bis 1996.....	75
Tab. 12: Vorläufige Vorausschätzungen zu den Veränderungen der Kohlenstoffvorräte und den Flächen aufgrund von Artikel-3.3-Aktivitäten in Österreich im ersten Verpflichtungszeitraum des Kyoto-Protokolls 2008-2012 .....	81

## LIST OF FIGURES

Abb. 1: Correlation between the mean annual increment per ha of conifers and deciduous trees according to the forest inventory and the mean increment indices for Norway spruce for the inventory periods 76/80, 86/90 and 92/96.....	23
Abb. 2: Correlation between the mean annual harvest according to the forest inventory and the mean annual harvest according to the records of harvest for the periods 61/70, 86/90 und 92/96.....	24
Abb. 3: Correlation between the calculated annual harvest based on the forest inventory data (ÖWI) and the annual harvest according to the national wood balance (HB, left) as well as according to the annual records of harvest (HEM, right).....	26
Abb. 4: Scheme for the calculation of the annual biomass C uptake by increment, of the annual biomass C release by harvest and of the annual net C balance of the Austrian forest biomass.....	33
Abb. 5: Annual biomass increment per ha of the conifers and the deciduous trees of the Austrian forests .....	60
Abb. 6: Annual biomass C uptake by increment and annual biomass C release by the harvest of the Austrian forests.....	61
Abb. 7: Annual net C uptake (+) or release (-) by the Austrian forest biomass .....	62
Abb. 8: Annual net CO <sub>2</sub> uptake (+) or release (-) by the Austrian forest biomass .....	63
Abb. 9: Annual biomass C uptake by increment and annual biomass C release by the harvest of the conifers of the Austrian forests .....	64
Abb. 10: Annual biomass C uptake by increment and annual biomass C release by the harvest of the deciduous trees of the Austrian forests.....	65
Abb. 11: Jährliche Nettokohlenstoffbindung oder -freisetzung durch den Nadel- und durch den Laubwaldanteil im österreichischen Wald.....	66
Abb. 12: Annual net C uptake (+) or release (-) by the Austrian forest biomass of conifers and deciduous trees .....	67
Abb. 13: Estimated stock change of fast overturning C per ha in the Austrian forest soils with and without a temperature change of +0.5 °C according to scenario 1 (above) and scenario 2 (below) for the period 1961 bis 1996.....	72
Abb. 14: Estimated stock change of fast overturning C in the soils of the Austrian forests within yield with and without a temperature change of +0.5 °C according to scenario 1 (above) and scenario 2 (below) for the period 1961 bis 1996.....	73

## LIST OF TABLES

Tab. 1:	Area, stock, increment and harvest of the Austrian forests in the individual forest inventory periods.....	21
Tab. 2:	Minimum, mean und maximum densities of absolute dry wood and volume shrinkage at a decrease of the wood moisture content from saturation to 0 %.....	29
Tab. 3:	Conversion factors „t d.m. stemwood → t d.m. whole tree“ and standard deviations for Norway spruce, pine, beech and oak separated into age classes, increment and harvest.....	31
Tab. 4:	C contents of wood from several species, bark and needles/leaves.....	32
Tab. 5:	Conversion factors for the Austrian forests .....	32
Tab. 6:	Relative uncertainties of the used data for the calculation of the C balance .....	38
Tab. 7:	FAO and IPCC definitional scenario for forest, afforestation, reforestation and deforestation according to IPCC (2000) .....	50
Tab. 8:	Possible accounting rules for Kyoto Article 3.3 according to IPCC (2000).....	51
Tab. 9:	Derived data from the Austrian forest inventory and conversion factors which were used to estimate the C uptake and release of the biomass at the afforestation, reforestation and deforestation areas .....	53
Tab. 10:	C stock of the Austrian forests in 1990.....	56
Tab. 11:	Estimated data on the C stock change of the Austrian forest soils between 1961 and 1996 (left data column), between 1990 and 1996 (right data column) and C stock change of the Austrian forest soils between 1961 and 1996 expressed as percentage of the net C uptake of the Austrian forest biomass in this period (middle data column) .....	75
Tab. 12:	Preliminary data on C stock changes (biomass and soil) related to "Kyoto Article 3.3" in the first commitment period 2008-2012 according to different definitional scenarios and accounting rules (Revised data, September 2000).....	81