

# Netzwerk Lebenszyklusdaten

## Arbeitskreis NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

---



## Datenprojekt „Nachwachsende Rohstoffe“

### Endbericht

im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag  
des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Heidelberg Karlsruhe - Oktober 2007



## Vorwort

Der vorliegende Projektbericht wird herausgegeben vom Netzwerk Lebenszyklusdaten ([www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de](http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de)).

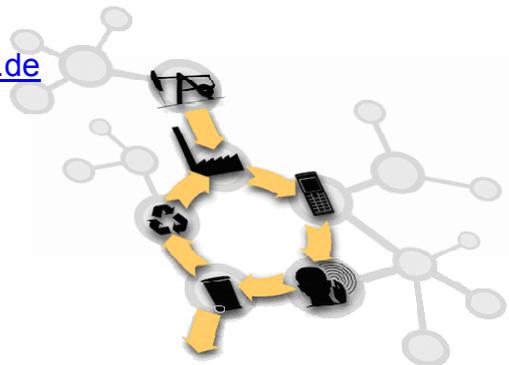
Das Netzwerk Lebenszyklusdaten ist die gemeinsame Informations- und Koordinationsplattform aller in die Bereitstellung und Nutzung von Lebenszyklusdaten in Deutschland involvierten Gruppen – von Wissenschaft und Wirtschaft über Politik und Behörden hin zu Verbraucherberatung und allgemeiner interessierter Öffentlichkeit. Ziel des Netzwerks Lebenszyklusdaten ist es, das umfangreiche Knowhow auf dem Gebiet der Lebenszyklusdaten innerhalb Deutschlands zusammenzuführen und als Basis zukünftiger wissenschaftlicher Weiterentwicklung und praktischer Arbeiten für Nutzer in allen Anwendungsgebieten von Lebenszyklusanalysen bereitzustellen.

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird getragen vom Forschungszentrum Karlsruhe. Die vorliegende Studie wurde im Rahmen der Projektförderung (2004 – 2008) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Förderung der Wissenskooperation zum Aufbau und Umsetzung des deutschen Netzwerks Lebenszyklusdaten“ erstellt. Weitere im Rahmen dieser Projektförderung erstellte Studien sind erhältlich unter <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/content/Projektberichte>.

### Kontakt Netzwerk Lebenszyklusdaten:

E-Mail: [info@netzwerk-lebenszyklusdaten.de](mailto:info@netzwerk-lebenszyklusdaten.de)

Anschrift: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse,  
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (ITAS-ZTS)  
Postfach 3640  
76021 Karlsruhe  
[www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de](http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de)



Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird gefördert durch das  
Bundesministerium für Bildung und Forschung



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Datenprojekt „Nachwachsende Rohstoffe“

## **Autoren:**

Nils Rettenmaier

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Dr. Guido Reinhardt

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Julia Münch

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Sven Gärtner

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

## **Kontakt:**

Dr. Guido Reinhardt

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Wilckensstr. 3

D-69120 Heidelberg

Tel. 06221 / 4767-0, Fax -19

E-Mail: [guido.reinhardt@ifeu.de](mailto:guido.reinhardt@ifeu.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2 Systembeschreibung und Untersuchungsrahmen</b>	<b>7</b>
2.1 Produktdefinition und Bezugseinheit	7
2.2 Systemgrenzen	8
2.3 Datenbasis	8
2.4 Allokationen: Umgang mit Koppelprodukten	8
2.5 Prozessdaten	9
2.6 Methodische Besonderheiten	9
<b>3 Dokumentation der Sachbilanzdaten</b>	<b>13</b>
3.1 Direkte Landnutzungsänderung	13
3.1.1 Kohlenstoffvorräte tropischer Wald- und Agrarökosysteme	13
3.1.2 CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Veränderung des Kohlenstoffvorrats	16
3.1.3 Weitere THG-Emissionen durch anthropogene Feuer	20
3.2 Biomasseproduktion (Ölpalmenanbau)	22
3.2.1 Stoff- und Energieflüsse Plantage	22
3.2.2 N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Düngemitteln	23
3.2.3 Weitere THG-Emissionen durch Abbrennen der Plantage	24
3.3 Konversionsprozess (Ölmühlen)	25
3.3.1 Stoff- und Energieflüsse Palmöl- und Palmkernölmühle	25
3.3.2 Spezifikation der Koppelprodukte	28
<b>4 Anwendungsmöglichkeit der Sachbilanzdaten</b>	<b>29</b>
<b>5 Fortschreibung und Aktualisierung der Daten</b>	<b>32</b>
<b>6 Literatur</b>	<b>33</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>36</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>37</b>
7.1 Ableitung der Kohlenstoffvorräte tropischer Ökosysteme	37
7.2 Emissions- und Verbrennungsfaktoren	41

## Zusammenfassung

Die energetische, stoffliche und werkstoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Nawaro) hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung gilt es jedoch bei der Entwicklung neuer oder der Optimierung bestehender Produkte und Prozesse den Verbrauch von Rohstoffen und Energie zu verringern und unerwünschte Umwelteinwirkungen zu vermindern. Systemanalytische Untersuchungen zu Lebenszyklen von Produkten (z. B. Ökobilanzen), für die eine Vielzahl von Lebenszyklusdaten benötigt wird, bilden dabei die Basis für die Identifizierung vorteilhafter Nutzungspfade.

Da sich die aus Herstellung, Nutzung und Entsorgung bestehenden Lebenszyklen von nachwachsenden Rohstoffen in zahlreichen Punkten von denen erschöpflicher Rohstoffe unterscheiden, sollen im Rahmen des Netzwerks Lebenszyklusdaten – aufbauend auf den Vorarbeiten der Arbeitskreise Methodik und Energie – entsprechende Lebenszyklusdaten bereitgestellt sowie eine konsistente Methodik zur Abbildung von Nawaro in Lebenszyklusanalysen erarbeitet werden.

Der vorliegende Bericht leistet einen Beitrag zu den beiden genannten Zielen, indem er sowohl die Erarbeitung von Sachbilanzdaten für einen ausgewählten Nawaro dokumentiert und diese Daten der Öffentlichkeit zur Verfügung stellt als auch methodische Fragestellungen diskutiert. Der Schwerpunkt dieses Berichts liegt dabei auf der Dokumentation der Basisdaten für die Herstellung von Palmöl; zusätzlich werden Datensätze im EcoSpold-Format bereitgestellt, mit deren Hilfe interessierte Ökobilanzierer ausgewählte Szenarien modellieren können.

Aufgrund der vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde beispielhaft Palmöl ausgewählt, da dies ein neuer Nawaro ist, für den bislang kaum Daten dokumentiert sind.

# 1 Einleitung

## Hintergrund und Erkenntnisinteresse

Das vom Forschungszentrum Karlsruhe getragene und durch das BMBF geförderte Netzwerk Lebenszyklusdaten fungiert als deutsche Informations- und Kommunikationsplattform für alle Akteure im Bereich Lebenszyklusanalysen. Das Projekt hat zum Ziel, eine dauerhafte und selbst tragende Infrastruktur für die Datenbereitstellung zu entwickeln. Zur Umsetzung des Projektziels wurde eine Reihe von Arbeitskreisen eingerichtet.

Aufbauend auf Vorarbeiten der Arbeitskreise Methodik und Energie soll auch im Entwicklungsfeld „Nachwachsende Rohstoffe“ eine konsistente Methodik zur Abbildung von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) in Lebenszyklusanalysen erarbeitet werden. Dies speziell für Nawaro durchzuführen ist deshalb wichtig, weil zahlreiche Aspekte der Produktion nachwachsender Rohstoffe mit der Gewinnung erschöpflicher Rohstoffe nicht vergleichbar sind und sich die Wissenschaft vielen Fragestellungen in diesem Zusammenhang bisher nicht einheitlich genähert hat.

## Aufgabenstellung

Das IFEU-Institut wurde daher vom Forschungszentrum Karlsruhe beauftragt, Sachbilanzdaten für einen ausgewählten Nawaro zu erarbeiten und abzustimmen sowie einen Beitrag zur Methodenentwicklung zu leisten. Die Basisdaten sollen in einer Übersicht sowie als Datensatz zusammengestellt werden.

## Vorgehensweise

Die nachwachsenden Rohstoffe bieten eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten, die vom Bereich der Bioenergie über die stoffliche Nutzung von Pflanzenteilen bis hin zur chemischen Konversion in Bioraffinerien reichen. Aufgrund der vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde beispielhaft Palmöl ausgewählt, da dieser Nawaro in den letzten Jahren vermehrt energetisch eingesetzt wird und bislang dafür kaum Daten dokumentiert sind.

Es gibt eine Reihe von methodischen Fragestellungen, die bereits seit längerem in der Diskussion stehen, so z. B. der Umgang mit Koppelprodukten (Allokation versus Gutschrift). Eine Erörterung solcher Fragen würde an dieser Stelle zu weit führen, daher erfolgt hier eine Konzentration auf ausgewählte methodische Probleme, insbesondere aus dem Bereich der Landnutzungsänderungen, die sich im Zusammenhang mit der Palmölgewinnung ergeben.

Das IFEU hat in diversen Ökobilanz-Studien zur energetischen Nutzung von Palmöl bereits eine Vielzahl von Sachbilanzdaten erarbeitet (u. a. /Helms et al. 2006/, /IFEU 2007b/ und /IFEU et al. 2007/), welche die Ausgangsbasis für den vorliegenden Bericht bilden. Diese Daten wurden in Teilbereichen einer kritischen Sichtung durch externe Experten verschiedener Institutionen unterzogen. Dabei wurden sowohl ökobilanzmethodische Fragestellungen im Zusammenhang mit Palmöl erörtert als auch Basisdaten für Palmöl diskutiert.

Anschließend wurden die Ausgangsdaten vom IFEU an einigen Stellen modifiziert oder ergänzt und vollständig dokumentiert; die Verantwortung für die Daten liegt daher ausschließlich beim IFEU.

## **Danksagung**

An der kritischen Sichtung der wissenschaftlichen Daten und der Klärung von Fragen haben mitgewirkt:

- Dr. J. Dietz, Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena
- Dr. L. Eltrop, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. G. Gerold, Georg-August-Universität Göttingen
- Prof. Dr. J.G. Goldammer, Universität Freiburg
- Prof. Dr. M. Köhl, Universität Hamburg
- Dr. B. Michalzik, Georg-August-Universität Göttingen
- Dr. S.E. Page, University of Leicester (Großbritannien)
- B. Wicke, Utrecht University (Niederlande)
- Dr. H. Wösten, Wageningen University and Research Centre (Niederlande)

Ihnen allen danken die Autoren herzlich für ihren sachkundigen Rat und ihre Unterstützung.

## 2 Systembeschreibung und Untersuchungsrahmen

### 2.1 Produktdefinition und Bezugseinheit

#### Produktdefinition

Palmöl wird aus den etwa zwetschengroßen Früchten der Ölpalme (*Elaeis guineensis* Jacq.) gewonnen, genauer gesagt aus deren Fruchtfleisch. Die Ölpalme wird seit Anfang des 20. Jahrhunderts in den Tropen (10°S – 10°N) in Plantagen angebaut und ist mit rund 3,5 - 4,0 Tonnen Öl pro Hektar und Jahr eine der ertragreichsten Ölpflanzen weltweit. Obwohl die Ölpalme ursprünglich aus Westafrika (Golf von Guinea) stammt, entfallen heute mehr als 80% der globalen Produktion von über 30 Mio. Tonnen auf Südostasien (insbesondere Malaysia und Indonesien), in zunehmendem Maße gewinnt die Produktion aber auch in Afrika (Nigeria, Elfenbeinküste) und Südamerika (Kolumbien, Ecuador, Brasilien) an Bedeutung.

Die Ölpalmen liefern pro Hektar und Jahr ca. 20 Tonnen Fruchtbündel, welche jeweils aus ca. 200 Einzelfrüchten bestehen. Diese Fruchtbündel werden in Palmölmühlen in einer Reihe von Prozessschritten zu Palmöl verarbeitet, wobei die Fruchtbündel zunächst dampfsterilisiert werden, gefolgt vom Abstreifen der Einzelfrüchte, Malaxieren und mechanischem Pressen. Das so gewonnene Öl wird in einen Absetztank geleitet, dekantiert und in einer Zentrifuge gereinigt. Anschließend wird die Ölphase vakuumgetrocknet, um die Restfeuchte zu entfernen. Am Ende des Herstellungsprozesses erhält man als Produkt rohes Palmöl (*crude palm oil*, CPO).

#### Bezugseinheit

Bei der Herstellung von Palmöl finden entlang des Lebenszyklus von der etwaigen Urbarmachung der Plantagenfläche (direkte Landnutzungsänderung) über den Anbau der Ölpalmen (Biomasseproduktion) bis hin zur Extraktion des Palmöls in der Ölmühle (Konversion) unterschiedliche Prozesse statt. Diese bedingen zum Teil unterschiedliche Bezugseinheiten.

Mit der Errichtung von Ölpalmenplantagen sind auch heute oft noch großflächige Landnutzungsänderungen verbunden, die nicht nur zu einer Naturraumbeanspruchung, sondern in nicht unerheblichem Maße auch zur Freisetzung von Treibhausgasen führen, beispielsweise wenn tropischer Naturwald gerodet wird, um eine Ölpalmenplantage zu etablieren.

Für solche Prozesse wird in den Datensätzen die Bezugseinheit „Hektar“ bzw. „Hektar und Jahr“ gewählt, je nachdem, ob es sich um einmalige oder kontinuierlich auftretende Prozesse handelt. Für die Prozesse in der Ölmühle hingegen wird in der Dokumentation der Sachbilanzdaten meist die Bezugseinheit „Tonne frische Fruchtbündel“ gewählt; daneben sind weitere Einheiten wie z. B. „Kilometer“ zu finden.

Für die Datensätze im EcoSpold-Format hingegen wurde als Bezugseinheit für die Inputs zur Palmölgewinnung „Kilogramm rohes Palmöl“ gewählt, für die Landnutzungsänderungen wiederum „Hektar“ oder „Hektar und Jahr“.

## 2.2 Systemgrenzen

Das Produktsystem „Palmöl“ umfasst sämtliche Inputs und Outputs bis zur Bereitstellung eines Kilogramms rohen Palmöls, angefangen bei der etwaigen Urbarmachung der Plantagenfläche über den Anbau der Ölpalmen und dem Transport der reifen Fruchtbündel bis hin zur Extraktion des rohen Palmöls in einer Palmölmühle. Ein eventueller Transport nach Europa wurde nicht berücksichtigt. Der Ertrag von 3,5 t bei typischer Bewirtschaftung stellt dabei einen gemittelten Ertrag pro Hektar und Jahr dar, der sich aus einer Integration der ertragslosen Anfangsjahre und der ertragreicheren Folgejahre einer Plantage über eine Plantagenlänge von 25 Jahren ergibt (/IFEU 2007a/ auf Basis von /MPOB 2006/).

Der Ölpalmenplantage werden – wie in Ökobilanzen üblich – eine Reihe von alternativen Flächenbelegungen (Referenzsysteme) gegenübergestellt. Methodische Hintergrundinformationen hierzu finden sich bei /Jungk & Reinhardt 2000/.

## 2.3 Datenbasis

Die meisten Basisdaten entstammen der IFEU-internen Datenbank und wurden im Rahmen diverser Ökobilanz-Studien erarbeitet (u. a. /Helms et al. 2006/, /IFEU 2007b/ und /IFEU et al. 2007/). Sämtliche Daten wurden einer kritischen Sichtung durch externe Experten unterzogen und anschließend vom IFEU an einigen Stellen modifiziert oder ergänzt. Als wesentliche Grundlage dienten vor allem folgende Quellen:

- Landnutzungsänderungen: /Hooijer et al. 2006/, /IPCC 2006/, /IPCC 2003/, /Lasco & Pulhin 2003/, /Lasco et al. 2002/, /Syahrudin 2005/ sowie eigene Abschätzungen und Berechnungen /IFEU 2007a/
- Ölpalmenanbau und Palmölgewinnung: /Germer & Sauerborn 2007/, /Schmidt 2007/, /Wicke et al. 2007/, /Yusoff & Hansen 2007/ sowie eigene Abschätzungen und Berechnungen /IFEU 2007a/.

## 2.4 Allokationen: Umgang mit Koppelprodukten

Bei dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Konversionsprozess entstehen erhebliche Mengen an Koppelprodukten, die bei Sachbilanzen bzw. Lebenszyklusanalysen selbstverständlich berücksichtigt werden müssen. Darunter fallen bei der Palmölmühle die leeren Fruchtbündel (*empty fruit bunches*, EFB), Fasern und Kernschalen, die Palmkerne sowie die Ölmühlenabwässer (*palm oil mill effluent*, POME). Die Palmkerne wiederum werden in einer separaten Palmkernölmühle zu Palmkernöl und Presskuchen weiterverarbeitet.

Für den Konversionsprozess, der sich in Palmölmühle und Palmkernölmühle aufteilt, sind in Kapitel 3.3 entsprechende Basisdaten wie Massenbilanzen oder Energie-, Wasser- und Proteingehalte der Koppelprodukte aufgeführt. Damit kann der Anwender – unabhängig davon, ob er das Allokations- oder Gutschriftsverfahren präferiert – seine Berechnungen durchführen.

Daten, die außerhalb der in Kapitel 2.2 diskutierten Systemgrenzen liegen, wurden nicht mit aufgenommen. Dazu zählen beispielsweise die Prozessketten von Äquivalenzprodukten, die in funktionaler Äquivalenz zu den Koppelprodukten stehen.

## 2.5 Prozessdaten

Die Erarbeitung und Abstimmung von Sachbilanzdaten für Palmöl stellt – neben einem Beitrag zur Methodenentwicklung – die Hauptaufgabe im Rahmen dieses Projektes dar. Aus diesem Grund ist der Ableitung der Prozessdaten ein eigenes Hauptkapitel (Kapitel 3) gewidmet.

## 2.6 Methodische Besonderheiten

Die ökologische Bilanzierung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen weist im Vergleich zur Bilanzierung von Produkten aus erschöpflichen Rohstoffen einige methodische Besonderheiten auf. Beispielsweise werden durch die Produktion eines nachwachsenden Rohstoffs (Anbaubiomasse) landwirtschaftliche Flächen belegt, welche – sofern der Nawaro nicht produziert würde – auf eine andere Art und Weise genutzt werden würden. Dieses so genannte landwirtschaftliche Referenzsystem muss in Ökobilanzen durch einen Vergleich zwischen der untersuchten und einer alternativen Flächenbelegung berücksichtigt werden. Da dies sämtliche Nawaro aus Anbaubiomasse gleichermaßen betrifft, soll das Thema an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden (weiterführende Literatur findet sich z. B. in /Jungk & Reinhardt 2000/). Stattdessen werden einige methodische Besonderheiten diskutiert, die im Zusammenhang mit der Bilanzierung von Landnutzungsänderungen auftreten, welche mit dem Anbau von Ölpalmen einhergehen können.

### Landnutzungsänderungen

Eine Landnutzungsänderung findet statt, wenn eine Ölpalmenplantage nicht auf bereits landwirtschaftlich genutzten Flächen errichtet wird, sondern natürliche Ökosysteme wie Wälder oder Savannen ersetzt. Dies kann auf direktem oder indirektem Weg geschehen:

- Direkte Landnutzungsänderung: Rodung von tropischem Naturwald und Etablierung einer Ölpalmenplantage auf dieser Fläche
- Indirekte Landnutzungsänderung: Errichtung einer Ölpalmenplantage auf bereits landwirtschaftlich genutzten Flächen, wodurch der dortige Anbau auf andere Flächen verdrängt wird, was wiederum zur Rodung von tropischem Naturwald führen kann (*leakage / displacement effects*).

Im Folgenden werden einige diesbezügliche Fragen diskutiert, beispielsweise wie mit einer im Zuge einer Landnutzungsänderung erfolgenden Nutzholzentnahme oder der dabei auftretenden Veränderung des Kohlenstoffvorrats aus methodischer Sicht umgegangen werden sollte.

## Umgang mit Nutzholzentnahme

Bei der Rodung eines tropischen Naturwaldes wird in der Regel sämtliches Nutzholz entfernt, bevor die verbliebene Phytomasse – der so genannte „logged-over forest“ – anschließend abgebrannt wird. Mit dem daraus erzielten Erlös werden oft die eigentliche Errichtung der Ölpalmenplantage sowie die dreijährige ertragslose Anfangsphase finanziert.

Durch die Nutzholzentnahme verringert sich der Kohlenstoffvorrat des Waldes um 22-67% /Lasco 2002/. Es ist davon auszugehen, dass ein großer Teil des Holzes einer hochwertigen werkstofflichen Nutzung, beispielsweise in der Bau- oder Möbelindustrie, zugeführt wird, wodurch ein Teil des Kohlenstoffs über einen längeren Zeitraum zwischengespeichert wird. Das entfernte minderwertige Holz wird z. B. in Form von Holzkohle energetisch genutzt. Aus ökobilanzieller Sicht gibt es verschiedene Möglichkeiten, damit umzugehen:

- Das entnommene Nutzholz wird zu 100% der Ölpalmenplantage angelastet, da es anstelle einer werkstofflichen oder energetischen Nutzung verrottet, wodurch der gespeicherte Kohlenstoff verloren geht (Ansatz 1)
- Keine Anlastung des entnommenen Nutzholzes (0%), da das werkstofflich genutzte Holz und damit der Kohlenstoff über einen längeren Zeitraum z. B. in Gebäuden zwischengespeichert wird (Ansatz 2)
- Für das entnommene Nutzholz, das entweder sofort (in Form von Holzkohle) oder am Ende der werkstofflichen Nutzung (als Altholz) energetisch genutzt wird, wird eine Gutschrift erteilt, da dadurch fossile Energieträger eingespart werden können (Ansatz 3)

/Özdemir & Eltrop 2007/ schlagen die Ansatz 2 vor, da der Ölpalmenplantage nur der Kohlenstoffverlust gegenüber der unmittelbar zuvor erfolgten Landnutzung (logged-over forest) und nicht gegenüber der ursprünglichen Landnutzung (tropischer Naturwald) angelastet werden könnte. Eine (Teil-)Gutschrift dagegen wird als wissenschaftlich problematisch beurteilt, da es aus ihrer Sicht keine objektiv begründbaren und nachprüfbaren Prozentanteile für den energetisch genutzten Teil des entfernten Holzes geben kann. Dies könnte allenfalls im Zuge einer allgemein vereinbarten Übereinkunft geregelt werden. /Wicke et al. 2007/ wählen ebenfalls Ansatz 2, da sie nicht grundsätzlich von einem Zusammenhang zwischen Nutzholzentnahme und Etablierung einer Ölpalmenplantage ausgehen.

Demgegenüber schlägt das IFEU eine Berücksichtigung dieses Zusammenhangs vor, da der Aspekt der Finanzierung einer Ölpalmenetablierung durch eine Nutzholzentnahme nicht außer Acht gelassen werden kann. Das IFEU folgt daher einer Mischung aus Ansatz 1 und Ansatz 3: das entnommene Nutzholz wird zwar zu 100% der Ölpalmenplantage angelastet, allerdings wird einem Großteil des entnommenen Nutzholzes eine Gutschrift für dessen energetische Nutzung erteilt, da auf diese Weise fossile Energieträger eingespart werden können. Diese Einsparung wird dadurch erzielt, dass zum einen ein Teil des Holzes direkt als Bioenergieträger (z. B. in Form von Holzkohle) genutzt wird und zum anderen ein Teil des werkstofflich genutzten Holzes später als Altholz thermisch verwertet wird, wie dies beispielsweise in Deutschland der Regelfall ist. Es ist davon auszugehen, dass dies zumindest teilweise auch in anderen Ländern geschieht. Damit wird nur der Verlust des in der gesamten unterirdischen Phytomasse sowie des in der verbliebenen oberirdischen Phytomasse gespeicherten Kohlenstoffs der Ölpalmenplantage angelastet, da erstere verrottet und letztere üblicher Weise abgebrannt wird.

## Umgang mit Kohlenstoffdifferenzen

Ist die Höhe des Kohlenstoffverlustes (oder -gewinns) durch Landnutzungsänderung einmal bestimmt, stellt sich die Frage, wie die Kohlenstoffdifferenz in die Treibhausgasbilanz einfließen soll. Auch hier gibt es aus ökobilanzieller Sicht mehrere Möglichkeiten:

- Anlastung der Kohlenstoffdifferenz dem ersten Jahr der Ölpalmenplantage zu 100%
- Gleichmäßige Verteilung der Kohlenstoffdifferenz über einen bestimmten Zeitraum, d. h. lineare Anrechnung („Abschreibung“)

Das IFEU favorisiert hierbei eine Anrechnung, d. h. eine gleichmäßige Verteilung über einen bestimmten Zeitraum. Obwohl international gewisse Tendenzen bestehen, solche Veränderungen des Kohlenstoffvorrats über einen Zeitraum von 20 Jahren zu verteilen (z. B. nach IPCCs *stock change method*), sollte im Fall der Ölpalme ein Zeitraum von mindestens 25 Jahren gewählt werden, da dies einem durchschnittlichen Plantagenzyklus entspricht. Andererseits wäre es durchaus auch denkbar, die Kohlenstoffdifferenz über längere Zeiträume, z. B. über 100 Jahre (entspricht vier Plantagenzyklen) oder auch 500 Jahre (entspricht 20 Plantagenzyklen) anzurechnen, wenn man davon ausgeht, dass die Flächen über diesen Zeitraum nachhaltig bewirtschaftet werden, wie es in Europa seit hunderten von Jahren erfolgt. Hier gibt es von Seiten der Ökobilanznorm keinerlei Festlegungen, so dass jeder einzelne Anwender den für die jeweilige Fragestellung bestgeeigneten Ansatz wählen muss. In den bisherigen IFEU-Studien zum Thema Palmöl wurde für das Standardszenario ein Zeitraum von 100 Jahren angesetzt.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob je nach gewähltem Zeithorizont auch die so genannten GWP-Werte von 20, 100 und 500 Jahren herangezogen werden sollten. Mit ihnen wird das Treibhauspotenzial (*global warming potential*, GWP) und damit die Klimawirksamkeit eines Stoffes relativ zu CO<sub>2</sub> angegeben. In die Bestimmung der Umrechnungsfaktoren auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente geht die mittlere atmosphärische Verweildauer des Stoffes ein, d. h. seine Klimawirksamkeit wird über einen bestimmten Zeitraum integriert (Tabelle 2-1).

**Tabelle 2-1** Treibhauspotenzial ausgewählter Spurengase für verschiedene Zeithorizonte /IPCC 2007/

Substanz	Formel	Lebensdauer Jahre	Treibhauspotenzial bei Zeithorizont		
			20 Jahre kg CO <sub>2</sub> / kg	100 Jahre kg CO <sub>2</sub> / kg	500 Jahre kg CO <sub>2</sub> / kg
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	variabel	1	1	1
Methan	CH <sub>4</sub>	12	72	25	7,6
Distickstoffoxid	N <sub>2</sub> O	114	289	298	153

Derzeit gängige Praxis in zahlreichen nationalen und internationalen Treibhausgasbilanzen ist die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente für einen Integrationszeitraum von 100 Jahren. /Özdemir & Eltrop 2007/ empfehlen die Beibehaltung des GWP<sub>100</sub>-Wertes, da sich wissenschaftlich keine exakte Begründung für oder gegen einen anderen GWP-Wert finden lässt und ein anderer GWP-Wert eine neue Übereinkunft darstellen würde. Auch das IFEU verwendet in seinen Studien die GWP<sub>100</sub>-Werte.

## Verdrängungseffekte

Neben den bereits beschriebenen Folgen der direkten Landnutzungsänderungen gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten, denen gemein ist, dass sie andere Nutzungsformen wie beispielsweise Kautschuk- und Kokosnussplantagen oder auch Ölpalmenplantagen zur Nahrungsmittelproduktion ersetzen und auf andere, meist ertragsschwächere Standorte verdrängen.

Wird beispielsweise durch den Anbau von Ölpalmen auf Hohertragsflächen der bestehende Nahrungsmittelanbau verdrängt und auf Grenzertragsflächen verlagert, wären zur Produktion derselben Menge an Nahrungsmitteln aufgrund des geringeren Ertrags größere Flächen nötig. Diesem Umstand könnte beispielsweise durch eine Art „Sicherheitsfaktor“ Rechnung getragen werden /Fritsche 2007/. Ebenso könnte der spezifische Ertrag als Faktor eingerechnet werden /Özdemir & Eltrop 2007/.

Spinnt man die Kette ausgehend von der eben beschriebenen Verdrängungssituation quasi endlos weiter, können dadurch weitere Effekte auftreten, die auch als indirekte Landnutzungsänderungen (*leakage / displacement effects*) bezeichnet werden. Am Ende einer solchen Verdrängungskaskade steht dann im aus CO<sub>2</sub>-Sicht günstigsten Fall die Inkulturnahme einer Brachfläche, im ungünstigsten Fall die Rodung von Naturwald.

Im Zuge der derzeitigen Zertifizierungsbemühungen für Biokraftstoffe (siehe z. B. /BioNachV-Entwurf 2007/) werden Ansätze diskutiert, wie solche indirekten Landnutzungsänderungen in Ökobilanzen abgebildet werden können. Bisläng konnte aber noch kein allgemein akzeptierter Ansatz gefunden werden.

## 3 Dokumentation der Sachbilanzdaten

Bei der ökologischen Bewertung von Palmöl mittels einer Ökobilanz muss der gesamte Lebensweg des Palmöls „von der Wiege bis zur Bahre“, also einschließlich der etwaigen Urbarmachung der Plantagenfläche (direkte Landnutzungsänderung), des Anbaus der Ölpalmen (Biomasseproduktion) und der Palmölgewinnung in der Ölmühle (Konversion), betrachtet werden. Dafür wird eine ganze Reihe von Sachbilanzdaten benötigt, die im Folgenden lebenswegchronologisch aufgeführt sind.

Für die Modellierung von Produktsystemen in Ökobilanz-Studien werden Daten für alle relevanten Input- und Outputflüsse benötigt, wozu u. a. Energie-, Rohstoff- und Betriebsstoff-inputs (Ressourcen), (Koppel-)Produkte sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden gehören. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um durchschnittliche Standardwerte (*default values*), welche die Durchschnittsverhältnisse hinsichtlich der Input- und Outputflüsse beschreiben. Der Standardwert stellt dabei nicht zwangsläufig das arithmetische Mittel der anderen Werte, sondern meist eine Experteneinschätzung dar. Um der teilweise herrschenden Datenunsicherheit bezüglich des Standardwerts Rechnung zu tragen, wurde hier der Ansatz gewählt, den Standardwert (Std.) gegebenenfalls durch Bandbreiten (Minimal- bzw. Maximalwert, Min. / Max.) zu ergänzen. Die Bandbreiten, die in den folgenden Tabellen in Form von Minimal- und Maximalwerten aufgeführt sind, sind daher keinesfalls als Extremwerte zu verstehen, sondern bilden lediglich eine Spannweite für die Unschärfe des Standardwerts ab. Sie können somit insbesondere auch für Sensitivitätsanalysen verwendet werden.

### 3.1 Direkte Landnutzungsänderung

Bei der Nutzbarmachung der Plantagenfläche findet in den meisten Fällen eine Landnutzungsänderung statt, beispielsweise wenn tropischer Naturwald einer Ölpalmenplantage weichen muss. Dies ist mit einer Veränderung des Kohlenstoffvorrats der Fläche verbunden. Neben der Entfernung der Biomasse spielen dabei auch die Entwässerung von Moorböden, Brandrodung und damit gegebenenfalls verbundene Torfbrände eine große Rolle.

#### 3.1.1 Kohlenstoffvorräte tropischer Wald- und Agrarökosysteme

Kohlenstoff ist in den Kompartimenten Phytomasse, Streu / Totholz und organische Bodensubstanz gebunden. Die Kohlenstoffvorräte von Phytomasse (Tabelle 3-1) und Streu (Tabelle 3-2) werden als Folge von direkten Landnutzungsänderungen je nach Plantagenvernutzung in unterschiedlicher Höhe reduziert bzw. erhöht.

##### Phytomasse

Die Phytomasse (Pflanzenmasse) bezeichnet die Gesamtmasse aller lebenden Pflanzen und umfasst sämtliche oberirdischen (Spross) und unterirdischen (Wurzeln) Pflanzenteile. Da die Phytomasse häufig über 99% der Biomasse, also der Gesamtmasse aller Lebewesen (inklusive Tiere) stellt, werden Phyto- und Biomasse oft gleichgesetzt. Die angegebenen

Werte für den Natur bzw. Moorwald stellen einen gemittelten Wert aus vier verschiedenen tropischen Regionen (Südamerika, Afrika, Kontinentalasien und insulares Asien) dar, basierend auf den Zahlen von /IPCC 2006/ und gelten als pantropischer Wert. Eine Ableitung der in Tabelle 3-1 enthaltenen Zahlen findet sich im Anhang (Kapitel 7.1).

**Tabelle 3-1** Kohlenstoffvorräte der Phytomasse verschiedener tropischer Wald- und Agrarökosysteme [t C ha<sup>-1</sup>] (Werte gerundet)

	Std.	Min.	Max.	Quelle	Ableitung
Natur- / Moorwald	200	100	350	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2006/	Tabelle 7-1
Logged-over forest	100	50	180	/IFEU 2007a/	Tabelle 7-2
Sekundärwald	100	60	110	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2003/ und /Lasco & Pulhin 2003/	Tabelle 7-3
Brache	10			/IFEU 2007a/ auf Basis von /Lasco et al. 2002/	Tabelle 7-4
Ölpalmen	45			/IFEU 2007a/ auf Basis von /Syahrudin 2005/	Tabelle 7-6

### Streu und Totholz (DOM)

Das tote organische Material (*dead organic matter*, DOM) wird differenziert nach Streu und Totholz. Die Streu umfasst den weitgehend unzersetzten Bestandsabfall der Vegetation, der die Bodenoberfläche bedeckt. IPCC schlägt einen Wert von 2,1 t C ha<sup>-1</sup> für die Streu vor /IPCC 2006/. Untersuchungen in Amazonien deuten allerdings darauf hin, dass der Kohlenstoffvorrat der Streu unter Primärwald ca. 5 t C ha<sup>-1</sup> beträgt, was in etwa dem IPCC-Wert für immergrüne tropische Nadelwälder (*Needleleaf evergreen*) entspräche /Michalzik 2007/. Allerdings handelt es sich hier meist um Einzelwerte. Daher setzt das IFEU für den tropischen Naturwald vorläufig konservativ einen Wert von 2 t C ha<sup>-1</sup> basierend auf /IPCC 2006/ an (Tabelle 3-2). Dieser Wert wird auch von /Wicke et al. 2007/ verwendet. Hier besteht allerdings noch Forschungsbedarf, auch für die Kohlenstoffvorräte der Streu unter anderen Waldtypen. Das IFEU schlägt vor, für logged-over forest und Sekundärwald denselben Wert wie für Naturwald anzusetzen, solange dafür keine anderen Daten zur Verfügung stehen. Für die Ölpalmenplantage wird für die Streu ein Wert von 5 t C ha<sup>-1</sup> angesetzt, basierend auf /Syahrudin 2005/. Auch hier sollte noch vermehrt geforscht werden, um diesen Wert aus einer Fallstudie besser abzusichern.

**Tabelle 3-2** Kohlenstoffvorräte der Streu verschiedener tropischer Wald- und Agrarökosysteme [t C ha<sup>-1</sup>]

	Std.	Min.	Max.	Erläuterungen	Quelle	Ableitung
Natur- / Moorwald	2	1	3	Broadleaf deciduous	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2006/	/IPCC 2006/ Tab. 2.2, S. 2.27
Logged-over forest	2	1	3	s. Naturwald	/IFEU 2007a/	
Sekundärwald	2	1	3	s. Naturwald	/IFEU 2007a/	
Brache	k.A.					
Ölpalmen	5			Streu und Unterwuchs	/IFEU 2007a/ auf Basis von /Syahrudin 2005/	Tabelle 7-6

Für Totholz sind in /IPCC 2003/ Werte von 18,2 t TM ha<sup>-1</sup> publiziert (siehe Tabelle 3-3). Im Gegensatz dazu sind in der neuesten Publikation des IPCC von 2006 keine Werte mehr für Totholz enthalten mit der Begründung, dass sich die Daten als höchst unsicher erwiesen haben. Werte aus anderen Studien liegen dagegen deutlich höher als die in /IPCC 2003/ publizierten Werte, sie unterscheiden sich zum Teil um den Faktor 5 von diesen /Michalzik 2007/. An dieser Stelle besteht offensichtlich ebenfalls noch Forschungsbedarf. Da jedoch der frühere IPCC-Wert von 18,2 t C ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu anderen Quellen eher konservativ gewählt scheint, setzt das IFEU mindestens die daraus abgeleiteten rund 9 t C ha<sup>-1</sup> vorläufig als Standardwert an. Analog zum Naturwald wird dieser Wert auch für logged-over forest und Sekundärwald entsprechend gewählt. Sobald neue Erkenntnisse zur Verfügung stehen, wird der Wert entsprechend angepasst werden.

**Tabelle 3-3** Kohlenstoffvorräte von Totholz

	Einheit	Std.	Erläuterungen	Quelle	
Totholz	t TM / ha	18,2	Tropischer Regenwald	/IPCC 2003/	Tab. 3.2.2, S. 3.37
C-Gehalt	%	47%	Tropisch u. subtropisch, alle Pflanzenteile	/IPCC 2006/	Tab. 4.3, S. 4.48
C-Vorrat Totholz	t C / ha	8,6	Berechnet		
C-Vorrat Totholz	t C / ha	9	Gerundet		

### Organische Bodensubstanz (SOC)

In Tabelle 3-4 sind die Kohlenstoffvorräte der organischen Bodensubstanz (*soil organic carbon*, SOC) für Mineral- und Moorböden aufgeführt. Der Kohlenstoffvorrat für Mineralböden von 60 t C ha<sup>-1</sup> entstammt /IPCC 2006/ und wird auch von /Wicke et al. 2007/ verwendet. /Schmidt 2007/ gibt unter Bezugnahme auf /IPCC 2003/ einen Wert von 57 t C ha<sup>-1</sup> an, welcher aber in der genannten Quelle nicht zu finden ist. Die Ableitung des Kohlenstoffvorrats von Moorböden erfolgte nach Daten von /Wösten 2007/ und ist im Anhang dokumentiert (Kapitel 7.1). Entsprechende Werte wurden in keiner einschlägigen Ökobilanz-Studie gefunden, sind aber für die Berechnung von Treibhausgasemissionen nach Entwässerung der Moorböden von enormer Bedeutung, da sie über lange Zeiträume auftreten können.

**Tabelle 3-4** Kohlenstoffvorrat der organischen Bodensubstanz verschiedener tropischer Wald- und Agrarökosysteme [t C ha<sup>-1</sup>].

	Std.	Min.	Max.	Quelle	Ableitung
Mineralboden	60			/IPCC 2006/	Tab. 2.3, S. 2.31
Moorboden	1.200	250	3.150	/IFEU 2007a/ auf Basis von /Wösten 2007/	Tabelle 7-7

In den meisten bisher veröffentlichten Ökobilanz-Studien zu Palmöl wird angesetzt, dass bei Mineralböden durch die Umwandlung eines Naturwaldes in eine Ölpalmenplantage keine signifikante Veränderung des Kohlenstoffvorrats auftritt. Dagegen setzen /Wicke et al. 2007/ für den Kohlenstoffvorrat der organischen Bodensubstanz unter Ölpalmen basierend auf der Fallstudie von /Syahrudin 2007/ einen Wert von 40 t C ha<sup>-1</sup> an, was einen einmaligen

Verlust von 20 t C ha<sup>-1</sup> (60 t C ha<sup>-1</sup> - 40 t C ha<sup>-1</sup>) bedeuten würde. Würde jedoch die IPCC-Methodik /IPCC 2006/ zugrunde gelegt, die verschiedene Parameter zu Landnutzungsänderung, Bodenbearbeitung und Grad der Intensivierung zur Berechnung heranzieht ( $F_{LU}=1$ ,  $F_{MG}=1,15$  und  $F_I=1$ ), würde sich eine Kohlenstofffixierung von ca. 9 t C ha<sup>-1</sup> ergeben. Hier besteht also noch erheblicher Forschungsbedarf. Aufgrund der hohen Datenunsicherheit wird vorgeschlagen, den Kohlenstoffvorrat des Bodens unter Naturwald und Ölpalmen vorläufig gleichzusetzen, so wie in den meisten bislang veröffentlichten Ökobilanz-Studien zu Palmöl, und die Werte gegebenenfalls anzupassen, wenn neue Erkenntnisse vorliegen.

Der Kohlenstoffvorrat von Moorböden dagegen verringert sich – wie in Kapitel 3.1.2 ausführlich erläutert – bei direkten Landnutzungsänderungen deutlich, so dass erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt werden.

### Gesamte Kohlenstoffvorräte

In Tabelle 3-5 sind die Kohlenstoffvorräte der drei Kompartimente (Phytomasse, Streu / Totholz (DOM) und organische Bodensubstanz (SOC) übersichtsartig zusammengefasst.

**Tabelle 3-5** Gesamte Kohlenstoffvorräte verschiedener tropischer Ökosysteme [t C ha<sup>-1</sup>]

	Phytomasse	DOM	SOC	Gesamt	Erläuterungen
Naturwald	200	11	60	270	Gerundet
Moorwald	200	11	1.200	1.410	Gerundet
Logged-over forest	100	11	60	170	Gerundet
Sekundärwald	100	11	60	170	Gerundet
Brache	10	k.A.	60	70	
Ölpalmen auf Mineralboden	45	5	60	110	
Ölpalmen auf Moorboden	45	5	siehe Kapitel 3.1.2		

### 3.1.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Veränderung des Kohlenstoffvorrats

#### Naturwaldrodung bzw. Bepflanzung von degradierten Flächen (Brachen)

Ausgehend von den im vorigen Kapitel vorgestellten Kohlenstoffvorräten kann eine Reihe von Szenarien entwickelt werden, indem verschiedene Vor- und Nachnutzungen der Plantage kombiniert werden (Tabelle 3-6). Letztendlich ist für die Höhe der Kohlenstoffdifferenz nämlich nur die jeweils erste Flächennutzung, d. h. die Nutzung vor einer Umwandlung zu einer Ölpalmenplantage, und die letzte Flächennutzung, d. h. die Nutzung nach Aufgabe der Ölpalmenplantage, von Interesse. Als Vornutzungen werden betrachtet: Naturwald, Moorwald (Naturwald auf Moorboden) sowie eine degradierte Fläche (Brache). Nach Ende eines Plantagenzyklus kann die Plantage entweder erneuert und somit kontinuierlich bewirtschaftet werden, sie kann aufgelassen werden und sich in Richtung Sekundärwald entwickeln oder zur Brache degradieren.

**Tabelle 3-6** Mögliche Landnutzungsszenarien für Ölpalmenanbauflächen sowie zugehörige Kohlenstoffveränderungen (nur Phytomasse, Streu und Totholz)

Stadium 1 (Vornutzung)	Stadium 2 (Plantagennutzung)	Stadium 3 (Nachfolgenutzung)	$\Delta C$ (ohne SOC) [t C / ha]
		Sekundärwald	-62
Naturwald nach Nutzholzentnahme	Ölpalmenplantage	Ölpalmenplantage	-112
		Degradierete Fläche	-152
Moorwald nach Nutzholzentnahme	Ölpalmenplantage	Sekundärwald	-62
		Ölpalmenplantage	-112
Degradierete Fläche	Ölpalmenplantage	Degradierete Fläche	-152
		Sekundärwald	90
		Ölpalmenplantage	40
		Degradierete Fläche	0

Wie in Kapitel 2.6 erläutert, lastet das IFEU den Kohlenstoffverlust durch Rodung von tropischem Primärwald vor Etablierung einer Ölpalmenplantage nicht komplett der Ölpalmenplantage an, begnügt sich aber auch nicht damit, der Plantage lediglich den Kohlenstoffverlust eines logged-over forest zuzuschreiben. Beruhend auf /Lasco 2002/, der eine Kohlenstoffverringerung durch Nutzholzentnahme um 22-67% angibt, wird im IFEU-Ansatz zugrunde gelegt, dass sich der Kohlenstoffvorrat der Biomasse eines tropischen Naturwalds durch die selektive Nutzholzentnahme um 50% verringert. Der Kohlenstoff des verbleibenden logged-over forest geht bei der folgenden Rodung dann komplett verloren. Die verbleibende Kohlenstoffdifferenz zwischen Primärwald und logged-over forest wird wie folgt aufgeteilt: Der gesamte Kohlenstoff der unterirdischen Biomasse geht ebenfalls verloren, weil die Wurzeln nach der Holzentnahme absterben und mineralisiert werden. Das entfernte Nutzholz dagegen wird unterschiedlichen Nutzungen zugeführt: der qualitativ minderwertigere Teil (1/3) wird als Holzkohle oder direkt energetisch verwertet und erhält eine Gutschrift, da dadurch fossile Energieträger ersetzt werden. Der qualitativ höherwertige Teil (2/3) des Nutzholzes wird, zumindest mittelfristig, als Bau- oder Möbelholz gebunden. Langfristig allerdings geht auch dieser Kohlenstoff verloren, wobei zugrunde gelegt wird, dass die Hälfte des Möbelholzes energetisch verwertet wird und daher eine Gutschrift erhält, weil dadurch wiederum fossile Energieträger ersetzt werden. Die andere Hälfte dagegen verrottet, wodurch CO<sub>2</sub> emittiert wird.

Daraus ergibt sich bei Rodung eines Naturwaldes bzw. Moorwaldes mit voriger Nutzholzentnahme insgesamt ein Kohlenstoffverlust von rund 162 t C ha<sup>-1</sup>, bestehend aus 100 t C ha<sup>-1</sup> durch Rodung des logged-over forest, 27 t C ha<sup>-1</sup> durch Mineralisation der Wurzeln des entnommenen Nutzholzes, 24 t C ha<sup>-1</sup> durch späteres Verrotten eines Teil des Möbelholzes und 11 t C ha<sup>-1</sup> in Form von Streu und Totholz (Tabelle 3-7).

**Tabelle 3-7** Verringerung des Phytomasse-Kohlenstoffverlusts durch Nutzholzentnahme in [t C ha<sup>-1</sup>] (Werte sind gerundet, daher Summenfehler möglich)

	Menge
C-Verlust durch Nutzholzentnahme (gesamt)	100
C-Verlust unterird. Phytomasse der Nutzhölzer	<b>27</b>
C-Gehalt entnommene Nutzhölzer (oberirdisch)	73
Nutzung der oberirdischen Phytomasse (Nutzholz)	73
67% hochwertige Holznutzung (Bau-/Möbelholz)	49
33% minderwertige Holznutzung (Bioenergie)	24
C-Gutschrift für Bioenergie-Nutzung	
100% Bioenergie aus minderwertigem Holz	-24
50% Bioenergie aus hochwertigem Holz (Altholz)	-24
C-Verlust aus Nutzholzentnahme	<b>24</b>
C-Verlust durch Rodung des logged-over forest	<b>100</b>
C-Verlust durch Beseitigung von DOM	<b>11</b>
Gesamt C-Verlust durch Rodung von Naturwald mit vorheriger Nutzholzentnahme	<b>162</b>

Somit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Anlage einer Ölpalmenplantage meist nicht unabhängig von einer Nutzholzentnahme erfolgt, sondern eng damit verknüpft ist, da der Erlös aus dem Holzverkauf die Etablierung einer Ölpalmenplantage und die ersten ertragslosen Jahre finanziert. Die Kohlenstoffveränderungen in Tabelle 3-6 ergeben sich dann ausgehend von dem Kohlenstoffverlust bei Rodung eines Natur- bzw. Moorwaldes von 162 t C ha<sup>-1</sup>.

### Entwässerung von Moorböden

Für den Anbau von Ölpalmen muss der Grundwasserspiegel um ca. 1 m abgesenkt werden, wodurch der vormals wassergesättigte Moorkörper mit Luft in Kontakt kommt. Daraufhin einsetzende Oxidations-, Kompaktions- und Austrocknungsprozesse führen nicht nur zu einer Sackung des Moorkörpers, sondern auch zu gewaltigen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auch viele Jahre nach der Landnutzungsänderung noch auftreten. Durch die Sackung wiederum muss ständig nachdrainiert werden, so dass letztendlich eines Tages der gesamte Moorkörper verschwunden sein wird.

In Tabelle 3-8 ist die Verlustrate von Kohlenstoff pro Hektar, Jahr und Meter Entwässerungstiefe angegeben; pro Jahr und Hektar gehen also 25 t C pro Meter Entwässerungstiefe verloren. Dieser Vorgang setzt sich allerdings nicht ewig fort, sondern wird von der Mächtigkeit der Torfschicht bestimmt. Wenn der Torf vollständig oxidiert ist, findet kein weiterer Kohlenstoffverlust mehr statt. Die Kohlenstoffverlustrate spielt also nur dann eine große Rolle, wenn kurze Zeithorizonte betrachtet werden und nach Nutzung wiedervernässt wird oder wenn die Entwässerungstiefe geringer ist als die Torfmächtigkeit, ansonsten geht der gesamte Kohlenstoffvorrat des Bodens mit der Zeit verloren.

**Tabelle 3-8** Kohlenstoffverlust durch Drainierung von Moorböden (bis Vorrat erschöpft)

	Einheit	Std.	Quelle
CO <sub>2</sub> -Emission / cm Entwässerung	t CO <sub>2</sub> / ha*cm	0,91	/Hooijer et al. 2006/ Tab. 5, S. 18
Kohlenstoffverlustrate	t C / ha*m*a	25	Berechnet

Das IFEU schlägt vor, den nach /Hooijer et. al. 2006/ für Südostasien abgeleiteten Wert (Tabelle 3-8) als pantropischen Wert zu verwenden, da die Emissionen in Abhängigkeit der Entwässerungstiefe bestimmt werden und ein solcher Ansatz in allen Regionen sinnvoll ist. Bei 1 m Entwässerungstiefe (/Hooijer et al. 2006/ bezeichnen 95 cm als wahrscheinlich) ergibt sich die bereits genannte Kohlenstoffverlustrate von 25 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

/IPCC 2006/ hat ebenfalls verschiedene Daten zum Kohlenstoffverlust von organischen Böden veröffentlicht: für entwässerte organische Böden in tropischen Forstwäldern (*drained organic soils in managed forests*) gibt /IPCC 2006/ lediglich Emissionen von 1,36 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Für kultivierte organische Böden (*cultivated organic soils*) schlägt IPCC dagegen einen Wert von 20 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> vor (Tabelle 5.6, S. 5.19). Laut IPCC (S. 5.16) sollten mehrjährige Baumkulturen entweder der Kategorie „Wald“ zugeordnet werden (Verlust 1,36 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) oder der Kategorie „kultivierte organische Böden“ (Verlust 20 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), in Abhängigkeit von der Entwässerungstiefe. Es bleibt allerdings offen, ab wann eine Entwässerungstiefe als „tief“ einzustufen ist und somit eine Zuordnung zu „kultivierten organischen Böden“ zu erfolgen hat. Da bei Ölpalmenplantagen allerdings verhältnismäßig tief entwässert wird, ist der Wert von 20 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für diese Kultur wohl eher zutreffend.

Der Ableitung von /Hooijer et al. 2006/ folgend, würden die 20 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> von /IPCC 2006/ einer Entwässerungstiefe von 80 cm und daher eher dem unteren Ende der angegebenen Bandbreite von /Hooijer et al. 2006/ entsprechen.

/Wicke et al. 2007/ verwenden das arithmetische Mittel aus den beiden bei /IPCC 2006/ angegebenen Werten (10,7 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), /Germer & Sauerborn 2007/ veranschlagen einen Kohlenstoffverlust von 8,6 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und /Reijnders & Huijbregts 2008/ geben eine Bandbreite von 10 – 15 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> an. Die unterschiedlichen Werte weisen darauf hin, dass dazu noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

Das IFEU schlägt als pantropischen Wert die Verwendung der Kohlenstoffverlustrate von 25 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> vor, gekoppelt mit einer durchschnittlichen Torfmächtigkeit von 2 m. Ohne zeitliche Begrenzung mit anschließender Wiedervernässung geht demzufolge der gesamte Kohlenstoffvorrat dieser 2 m verloren (1.200 t C ha<sup>-1</sup> in ca. 48 Jahren, siehe Tabelle 3-4). Sollten dem Ökobilanzierer genaue regionenspezifische Angaben zu Entwässerungstiefe und Torfmächtigkeit vorliegen, können die Werte entsprechend angepasst werden.

### 3.1.3 Weitere THG-Emissionen durch anthropogene Feuer

#### Brandrodung und Abbrennen der Vegetation

Bei der Brandrodung verbrennt ein Teil der oberirdischen Phytomasse; dabei entstehen – je nach Art der Phytomasse und Verbrennungsvorgang – neben CO<sub>2</sub> insbesondere auch CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Da der gesamte oberirdische Kohlenstoff aber unabhängig vom Prozess – sei es durch Verbrennung oder Verrottung – als CO<sub>2</sub> emittiert wird, sind in Tabelle 3-9 nur die verbrennungsbedingten Emissionen an CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aufgeführt (Verbrennungs- und Emissionsfaktoren nach /IPCC 2006/ siehe Tabelle 7-8 und Tabelle 7-9 im Anhang).

**Tabelle 3-9** Treibhausgasemissionen durch Brandrodung von Tropenwäldern sowie Abbrennen von Grasland [t ha<sup>-1</sup>] (teilweise gerundet)

		Einheit	Std.	Min.	Max.	Quelle	Ableitung
Naturwald	Phytomasse oberird. + DOM	t TM / ha	330	180	550	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2006/	Tabelle 7-1, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3
	Verbrennungsfaktor	-	50%	47%	53%	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.48
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha	1,13	0,41	2,57	Berechnet	
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha	0,033	0,017	0,058	Berechnet	
Logged-over for.	Phytomasse oberird. + DOM	t TM / ha	180	100	290	/IFEU 2007a/	Tabelle 7-2, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3
	Verbrennungsfaktor	-	50%	47%	53%	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.48
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha	0,60	0,23	1,34	Berechnet	
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha	0,018	0,010	0,031	Berechnet	
Sekundärwald	Phytomasse oberird. + DOM	t TM / ha	147	145	149	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2003/	Tabelle 7-3, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3
	Verbrennungsfaktor	-	55%	49%	61%	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.48
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha	0,55	0,34	0,80	Berechnet	
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha	0,016	0,014	0,018	Berechnet	
Brache	Phytomasse oberirdisch	t TM / ha	6,2	6,2	6,2	/IPCC 2006/	Tab. 6.4, S. 6.27
	Verbrennungsfaktor	-	85%	75%	95%	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2006/	Tabelle 7-9
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha	0,01	0,01	0,02	Berechnet	
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha	0,001	0,001	0,002	Berechnet	

Die Brandrodung von Tropenwäldern wurde lediglich noch von /Germer & Sauerborn 2007/ betrachtet, allerdings auf der Basis von /IPCC 1996/ und mit einem Verbrennungsfaktor von 0,4. /Schmidt 2007/ lässt das Thema Brandrodung außer Acht mit der Begründung, sie sei verboten. /Wicke et al. 2007/ untersuchen in ihrer Fallstudie zwei Plantagen, die nicht durch Brandrodung vorbereitet wurden. Von allen relevanten Publikationen betrachten lediglich /Germer & Sauerborn 2007/ das Abbrennen von Grasland, allerdings auf der Basis von /IPCC 1996/ und mit einem Verbrennungsfaktor von 0,85.

Das IFEU schlägt vor, die Treibhausgasemissionen auf Basis der Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 7-8) nach /IPCC 2006/ zu berechnen. Dort sind Emissionsfaktoren für die verschiedenen Ökosysteme vorgeschlagen, die mit der Phytomasse und dem Verbrennungsfaktor multipliziert werden, so dass sich die Werte der Tabelle 3-9 ergeben (Phytomasse x Verbrennungsfaktor x Emissionsfaktor).

### Moorbrände

Nach der Entwässerung von Moorböden zur Anpflanzung von Ölpalmen werden diese Flächen oft zusätzlich abgebrannt. Dabei dringt das Feuer je nach hydrologischem Zustand bis in Tiefen von 25 – 50 cm in den (ausgetrockneten) Torfkörper ein /Page 2007/. Durch einen solchen Moorbrand geht ein Teil des frisch drainierten Torfkörpers in Form von Treibhausgas-Emissionen gleich wieder verloren. Dieser Prozess ist bei der gegenwärtigen Datenlage nur ungenau zu modellieren. Daher wird vorgeschlagen, diesen Prozess ausgehend von einer konservativen Brandtiefe von 25 cm mit zu berücksichtigen. Nach Erfüllung des Forschungsbedarfs müssen diese Werte gegebenenfalls angepasst werden.

**Tabelle 3-10** Treibhausgasemissionen aufgrund eines Moorbrandes bis 25 cm Tiefe

	Einheit	Std.	Min.	Max.	Quelle		
Moorboden	Gehalt org. Substanz	t OS / ha*m	1000	500	1500	/Wösten 2007/	
	Brandtiefe	m	0,25	0,25	0,25	/Page 2007/	
	Biomassegehalt	t OS / ha*0,25 m	250	125	375	Berechnet	
	Verbrennungsfaktor	-	70%	70%	70%	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.49
	Emissionen CO <sub>2</sub>	t CO <sub>2</sub> / ha*0,25 m	314	131	549	Berechnet	
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha*0,25 m	3,9	1,6	6,7	Berechnet	
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha*0,25 m	0,035	0,018	0,053	Berechnet	

Ein Moorbrand führt zu einem einmaligen Verlust des Kohlenstoffs in Form von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> sowie zu N<sub>2</sub>O-Emissionen. Für die Verbrennung finden sich in /IPCC 2006/ zwar Verbrennungsfaktoren für Torf bzw. tropische Feuchtgebiete, jedoch keine Emissionsfaktoren. Daher wurden vom IFEU eigene Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> abgeleitet /IFEU 2007a auf Basis von /Christian et al. 2003/ (genaue Ableitung siehe Kapitel 7.2). Für N<sub>2</sub>O wurde mangels geeigneter Angaben der Emissionsfaktor von tropischem Wald verwendet. Die Emissionen errechnen sich durch die Multiplikation der Biomasse, des Verbrennungsfaktors und des jeweiligen Emissionsfaktors (siehe Tabelle 7-8 und Tabelle 7-9 im Anhang). Die Verbrennung wurde damit nur ungenau erfasst, etwaige Schwelbrände können zu weitaus höheren Emissionen führen. Die Werte in Tabelle 3-10 stellen daher eine konservative Ableitung dar, mithilfe derer Moorbrände zumindest mit einkalkuliert werden können.

Damit die Ölpalmen anschließend wieder den gleichen Abstand zum Grundwasserspiegel haben, ist ein weiteres Nachdrainieren erforderlich. Von der im Standardfall angesetzten Torfmächtigkeit von 2 m sind im Falle eines Moorbrandes dann nur noch 1,75 m übrig, die oxidiert werden können. Dies muss gegebenenfalls berücksichtigt werden.

## 3.2 Biomasseproduktion (Ölpalmenanbau)

### 3.2.1 Stoff- und Energieflüsse Plantage

Für den Anbau von Ölpalmen werden verschiedene stoffliche und energetische Inputs benötigt. Tabelle 3-11 listet den Düngemittleinsatz bezogen auf eine Tonne frische Frucht-bündel (*fresh fruit bunches*, FFB) auf und beinhaltet daneben einige Vergleichswerte aus der Literatur. Die Düngemittelangaben des IFEU beziehen sich auf die Menge, die tatsächlich durch den Abtransport der Ölfrüchte entzogen wird. Des Weiteren wird Dieselkraftstoff für die mechanische Feldarbeit sowie für den Transport der frischen Fruchtbündel zur Ölmühle verwendet. Die Werte von /Wicke et al. 2007/ und /Schmidt 2007/ sind deutlich niedriger als die von /Yusoff & Hansen 2007/, was damit zusammenhängen könnte, dass es sich bei den beiden erstgenannten Arbeiten um Fallstudien auf besonders gut geführten Plantagen handelt. Zudem umfassen die IFEU-Daten bereits jeglichen Dieseleinsatz auf der Plantage, inklusive dem Verbrauch für die Ölmühle, während /Wicke et al. 2007/ und /Schmidt 2007/ dafür noch einen zusätzlichen Wert ausweisen (siehe Tabelle 3-16).

**Tabelle 3-11** Plantage: Stoffliche und energetische Inputs und Outputs pro Tonne frischer Fruchtbündel (FFB)

Diese Studie			/IFEU 2007b/	/Yusoff & Hansen 2007/	/Wicke et al. 2007/	/Schmidt 2007/	/Mutert & Fairhurst 1999/
Input	Menge	Einheit					
N	5	kg / t FFB	5,0	4,8	5,0	5,6	5,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3	kg / t FFB	1,4	1,4	2,9	3,7	1,6
K <sub>2</sub> O	12	kg / t FFB	9,0	8,6	10,4	10,8	12
MgO	2	kg / t FFB	2,5	2,4	0,6	1,9	2,5
Diesel	11	L / t FFB	11	10,7	3,5	3,1	k.A.
Output	Menge	Einheit					
FFB	1	t FFB	1	1	1	1	1

Neben den ertrags- und damit entzugsabhängigen Düngemittelinputs gibt es noch weitere, davon unabhängige Inputs. Tabelle 3-12 enthält Daten für den Pestizideinsatz. Die Werte von /Wicke et al. 2007/ und /Schmidt 2007/ sind hier wiederum niedriger als die von /Yusoff & Hansen 2007/, was damit zusammenhängen könnte, dass es sich bei den beiden erstgenannten Arbeiten um Fallstudien auf besonders gut geführten Plantagen handelt. Für durchschnittliche Verhältnisse sollten nach Meinung des IFEU deswegen die höheren Werte von 10 kg Pestiziden ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> angesetzt werden.

**Tabelle 3-12** Plantage: Stoffliche Inputs pro Hektar und Jahr

Input	Diese Studie		/IFEU 2007b/	/Yusoff & Hansen 2007/	/Wicke et al. 2007/	/Schmidt 2007/
	Menge	Einheit				
Pestizide	10	kg / (ha*a)	10	10	3	2,8

Der Flächenertrag der Ölpalmen ist äußerst variabel und hängt u. a. vom Standort, dem Pflanzmaterial sowie dem Management ab. In Malaysia, dem Land mit der weltweit höchstentwickelten Palmölindustrie, bewegt er sich im Mittel bei ca. 20 t FFB ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, wobei einzelne Plantagen deutlich höhere Erträge von bis zu 30 t FFB ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aufweisen können. Ein Ertrag von 20 t FFB ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> entspricht bei einer Ölextraktionsrate (*oil extraction rate*, OER) von 20% einem Ölertrag von 4 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Dieser Wert kann unter optimierten Voraussetzungen, wie sie beispielsweise in Malaysia vorherrschen, angesetzt werden. Als eine Art weltweiter Durchschnitt, der den weltweit typischen Palmölertrag abbildet, kann ein Wert von 3,5 t Palmöl ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bzw. ein FFB-Ertrag von 17,5 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> zugrunde gelegt werden (Tabelle 3-13). Dabei muss beachtet werden, dass diese Erträge durchschnittliche Erträge über eine gesamte Plantagendauer darstellen; d. h. über eine Integration von 25 Jahren wurde der Durchschnittsertrag aus ertragslosen Anfangsjahren und ertragreicheren Folgejahren ermittelt (/IFEU 2007a/ auf Basis von /MPOB 2006/).

**Tabelle 3-13** Plantage: Erträge von frischen Fruchtbündeln (FFB) und rohem Palmöl (CPO)

	Einheit	Bewirtschaftung	
		Typisch	Gut
Fruchtbündelertrag	t FFB / (ha*a)	17,5	20,0
Ölextraktionsrate (OER)	t CPO / t FFB	0,2	0,2
Ölertrag	t CPO / (ha*a)	3,5	4,0

### 3.2.2 N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Düngemitteln

Durch bakterielle Prozesse wird aus Böden Lachgas (N<sub>2</sub>O, Distickstoffmonoxid) freigesetzt. Die Höhe dieser Emissionen ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig, u. a. von der Menge der ausgebrachten Düngemittel. Die letztveröffentlichten Forschungsergebnisse in /IPCC 2006/ deuten darauf hin, dass bei allen Böden, unabhängig vom Bodentyp, etwa 1% des Düngemittel-Stickstoffs (DM-N) als N<sub>2</sub>O volatilisiert wird (Emissionsfaktor 1, EF<sub>1</sub>). Eine neue Studie von /Crutzen et al. 2007/ gibt allerdings wesentlich höhere N<sub>2</sub>O-Emissionen von 3-5% aus Düngemitteln an, die jedoch hier keine Berücksichtigung finden, da diese Ergebnisse erst noch durch weitere Forschungen bestätigt werden müssen. Bei organischen Böden dagegen sind die Emissionen deutlich höher. Zusätzlich zu den Emissionen aus Stickstoffdüngemitteln, die unabhängig vom Bodentyp auftreten, kommen bei organischen Böden pro Hektar und Jahr noch 16 kg N<sub>2</sub>O-N oder 25 kg N<sub>2</sub>O als fester Term (Emissionsfaktor 2, EF<sub>2</sub>) hinzu (Tabelle 3-14).

**Tabelle 3-14** Plantage: N<sub>2</sub>O-Emissionen infolge von Düngemittelausbringung

	Einheit	Std.	Min.	Max.	Quelle
N <sub>2</sub> O-Emissionsfaktor EF <sub>1</sub> (alle Böden)	kg N <sub>2</sub> O-N / kg DM-N	0,01			/IPCC 2006/ Berechnet
	kg N <sub>2</sub> O / kg DM-N	0,016			
N <sub>2</sub> O-Emissionsfaktor EF <sub>2</sub> (nur organische Böden)	kg N <sub>2</sub> O-N / ha*a	16	5	48	/IPCC 2006/ Berechnet
	kg N <sub>2</sub> O / ha*a	25,1	7,9	75,4	

/IPCC 2006/ gibt je nach Klimazone und Landnutzung unterschiedliche Werte für den EF<sub>2</sub> an. Für organische Waldböden in den Tropen (*tropical organic forest soils*) veranschlagt der Weltklimarat 8 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, für organische Acker- und Graslandböden in den Tropen (*tropical organic crop and grassland soils*) dagegen 16 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Zu welcher Kategorie Ölpalmenplantagen gezählt werden sollen, bleibt unklar. So verwenden /Wicke et al. 2007/ den Wert von 8 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, /Schmidt 2007/ dagegen die 16 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. /Germer & Sauerborn 2007/ wiederum veranschlagen lediglich 4,1 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Hier besteht offensichtlich noch Forschungsbedarf. Das IFEU ordnet aufgrund der hohen Entwässerungstiefe Ölpalmen zu den bewirtschafteten Böden, weshalb der höhere Wert von 16 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> verwendet wird.

### 3.2.3 Weitere THG-Emissionen durch Abbrennen der Plantage

Die Treibhausgasemissionen, die sich durch die Urbarmachung ergeben, wurden bereits im Kapitel 3.1.2 und 3.1.3 diskutiert, hier stehen daher Treibhausgasemissionen aus dem Abbrennen der Plantagen im Vordergrund. Im Falle eines solchen Abbrennens nach 25 Jahren wird ein großer Teil der oberirdischen Phytomasse vernichtet; dabei entstehen neben CO<sub>2</sub> insbesondere auch CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. In Tabelle 3-15 sind nur die Emissionen an CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O nach /IPCC 2006/ aufgeführt. Dabei wurde auf den Verbrennungsfaktor sowie die Emissionsfaktoren von landwirtschaftlichen Reststoffen (*agricultural residues*) zurückgegriffen, die in /IPCC 2006/ angegeben sind (siehe Tabelle 7-8 und Tabelle 7-9 im Anhang).

Da das Abbrennen der Plantagen vielfach verboten ist und auch mechanische Verfahren zur Vorbereitung einer neuen Plantage existieren, wurde sie in keiner uns bekannten Ökobilanz-Studie berücksichtigt. Das IFEU ist jedoch der Meinung, dass entsprechende Daten bereitgestellt werden sollten, um diesen Prozess zumindest für ausgewählte Szenarien modellieren zu können.

**Tabelle 3-15** Treibhausgasemissionen durch Abbrennen von Plantagen [t ha<sup>-1</sup>] in Abhängigkeit der oberirdischen Phytomasse und des Verbrennungsfaktors.

	Einheit	Std.	Quelle
Plantage	Phytomasse oberird.	t TM / ha	140 /IFEU 2007a/ auf Basis von /Syahrudin 2005/
	Verbrennungsfaktor	-	0,8 /IPCC 2006/ Tab. 2.6, S. 2.48
	Emissionen CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> / ha	0,30 Berechnet
	Emissionen N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O / ha	0,008 Berechnet

## 3.3 Konversionsprozess (Ölmühlen)

### 3.3.1 Stoff- und Energieflüsse Palmöl- und Palmkernölmühle

Die Aufarbeitung der frischen Fruchtbündel erfolgt zunächst in einer plantagennahen Palmölmühle, die neben einer Reihe von Koppelprodukten wie Fasern, Schalen und leeren Fruchtbündeln (*empty fruit bunches*, EFB) als Hauptprodukte rohes Palmöl (*crude palm oil*, CPO) sowie Palmkerne liefert. Die Palmkerne werden in einer separaten Palmkernölmühle zu rohem Palmkernöl (*crude palm kernel oil*, CPKO), welches sich chemisch vom rohen Palmöl unterscheidet, und Palmkernpresskuchen (*palm kernel cake / expeller*, PKC / PKE) weiterverarbeitet.

#### Palmölmühle

In Tabelle 3-16 sind die stofflichen und energetischen Inputs und Outputs pro Tonne FFB aufgeführt. Diese können mit Hilfe der in Tabelle 3-13 enthaltenen Erträge auf andere Bezugseinheiten wie Tonne CPO bzw. Hektar und Jahr umgerechnet werden. In der Regel sind die Palmölmühlen energieautark, da sie einen Teil der Fasern und Schalen im mühlen-eigenen Heizkraftwerk zur Strom- und Dampferzeugung nutzen. Im Fall einer guten Bewirtschaftung (mit \* gekennzeichnet) und eines vorhandenen Anschlusses an das öffentliche Stromnetz würden Ölmühlen auch die restlichen Fasern und Schalen zur Energiegewinnung nutzen und den Stromüberschuss ins öffentliche Netz einspeisen.

Die Arbeit von /Wicke et al. 2007/ dagegen weist einen deutlich höheren Energiebedarf der Palmölmühle aus, welcher durch die Energiegewinnung aus Fasern und Schalen selbst bei restloser Verwendung nicht gedeckt werden kann. Daher setzen diese Autoren einen zusätzlichen Dieselbedarf in Höhe von 1,5 L / t FFB an. Auch /Schmidt 2007/ gibt dafür einen Dieserverbrauch an, der allerdings mit 0,34 L / t FFB wesentlich niedriger liegt. Das IFEU hat bereits jeglichen Dieseleinsatz auf der Plantage, inklusive dem Verbrauch für die Ölmühle, durch den Wert aus Tabelle 3-11 abgedeckt, während /Wicke et al. 2007/ und /Schmidt 2007/ zwischen dem Verbrauch beim Anbau und bei der Ölmühle differenzieren.

Ob die Energiegewinnung aus Fasern und Schalen ausreicht, um den Energiebedarf einer Palmölmühle zu decken, wie das IFEU ansetzt, oder ob der Energiebedarf einer Palmölmühle höher ist, wie dies für die im Rahmen der von /Wicke et al. 2007/ untersuchten Fallstudien untersuchten Palmölmühlen zutrifft, kann nur schwer beurteilt werden. Andererseits ist bekannt, dass die Schalen oftmals wieder in die Plantagen zurückgeführt werden (Befestigung der Wege, etc.). Dies deutet darauf hin, dass ein Überschuss an Energie wahrscheinlich ist, da es aufgrund ihrer energietechnisch einfachen Handhabung keinen Grund gibt, die Schalen nicht energetisch zu nutzen.

Das IFEU setzt daher für den Standardfall eine energieautarke Palmölmühle an, die im Falle einer guten Bewirtschaftung sogar noch Strom ins öffentliche Netz einspeisen kann.

**Tabelle 3-16** Palmölmühle: Stoffliche und energetische Inputs und Outputs pro Tonne frischer Fruchtbündel (FFB)

Diese Studie			/IFEU 2007b/	/Yusoff & Hansen 2007/	/Wicke et al. 2007/	/Schmidt 2007/	/Schurchard et al. 2005/	/Chavalparit 2006/
Input	Menge	Einheit						
FrISChe Fruchtbündel	<b>1</b>	t FFB	1	1	1	1	1	1
Wasser	<b>k.A.</b>	m <sup>3</sup> / t FFB	k.A.	k.A.	k.A.	1,37	k.A.	1,26
Diesel	<b>0</b>	L / t FFB	0	0	1,5	0,4	k.A.	0,12
Strom	<b>0</b>	kWh / t FFB	0	0	0	0	k.A.	14,5
Output	Menge	Einheit						
Leere Fruchtbündel	<b>230</b>	kg / t FFB	220	234	k.A.	225	230	240
Rohes Palmöl	<b>200</b>	kg / t FFB	200	200	214	199,8	200	168
Kern	<b>53</b>	kg / t FFB	53	66	48	53,2	80	60
Fasern	<b>(130)*</b>	kg / t FFB	(140)*	(156)**	k.A. **	(130)**	130	140
Schalen	<b>(70)*</b>	kg / t FFB	(70)*	(76)**	k.A. **	(70)**	60	60
Strom	<b>50***</b>	MJ / t FFB	50***	54	0	31	k.A.	k.A.
POME	<b>600</b>	kg / t FFB	500	500	642	672,5	800	640
Biogas	<b>14</b>	Nm <sup>3</sup> / t FFB	14	14	14	14,2	k.A.	12,8
CH <sub>4</sub> -Gehalt Teiche	<b>35</b>	%	65	k.A.	40	65	65	70
CH <sub>4</sub> -Gehalt Biogasanlage	<b>55***</b>	%	65	k.A.	65	65	k.A.	k.A.

\* bei typischer Bewirtschaftung verbleibt ein Rest, bei guter 0% (Verwendung für Energieexport)  
\*\* Verwendung für Energieerzeugung      \*\*\*nur bei guter Bewirtschaftung

Weiterhin ist die Bedeutung des Umgangs mit den Ölmühlenabwässern (*palm oil mill effluent*, POME) hervorzuheben. Typischerweise werden die Abwässer in offenen Teichen (Lagunen) einer anaeroben Behandlung unterzogen, wobei große Mengen Biogas mit einem Methangehalt von 35% /Yacob et al. 2006/ entstehen. /Wicke et al. 2007/ setzen hierfür einen Wert von 40% an. Der Gehalt ist deshalb geringer als in geschlossenen Systemen, da durch die Luftzufuhr die Bakterientätigkeit gehemmt ist. Bei guter Bewirtschaftung dagegen würden die Abwässer in eine Biogasanlage geleitet und das dort gewonnene Biogas, welches einen deutlich höheren Methangehalt von 55% aufweist /Yacob et al. 2005/, zur Energiegewinnung genutzt. Yacob und Mitarbeiter betonen dabei, dass der in der Literatur vielfach zitierte Wert von 65% (z. B. /Ma et al. 1994/) nur unter Laborbedingungen erreicht werden kann.

Neben der Frage, welchen Methangehalt das Biogas aufweist, gilt es insbesondere auch die Menge an POME-Output zu überprüfen. In der Literatur wird vielfach ein Wert von 2,5 m<sup>3</sup> pro Tonne CPO (z. B. /Ma et al. 1994/) zitiert, der aber deutlich niedriger als in den Fallstudien von /Wicke et al. 2007/ und /Schmidt 2007/ (umgerechnet 3 – 3,3 m<sup>3</sup> pro Tonne CPO) liegt. Im Sinne einer konservativen Abschätzung setzt IFEU daher 600 kg pro t FFB an.

## Palmkernölmühle

Die stofflichen und energetischen Inputs und Outputs für die Palmkernölmühle sind in Tabelle 3-17 aufgelistet. Die Angabe erfolgt aus Konsistenzgründen mit Bezug auf eine Tonne FFB, damit die Werte leichter auf andere Bezugseinheiten umgerechnet werden können. Eine überschlägige Recherche ergab, dass zu Beginn dieses Jahrzehnts die Palmkerne in nur 5% der Fälle am Standort der Palmölmühle weiterverarbeitet wurden, d. h. in 95% der Fälle ein Transport zu einer separaten Palmkernölmühle nötig war. Ausgehend davon werden vom IFEU 100 km für den durchschnittlichen Transport der Palmkerne zur Palmkernölmühle zugrunde gelegt.

**Tabelle 3-17** Palmkernölmühle: Stoffliche und energetische Inputs und Outputs pro Tonne frischer Fruchtbündel (FFB)

	<b>Diese Studie</b>		/IFEU 2007b/	/Wicke et al. 2007/	/Schmidt 2007/
<b>Input</b>	Menge	Einheit			
Transport (20-t-LKW)	<b>100</b>	km	100	100	79
Kerne	<b>53</b>	kg / t FFB	52,8	48	53,2
Strom	<b>5</b>	kWh / t FFB	1,8	4,1	6,4
Heizöl	<b>0</b>	L / t FFB	0	1,9	0
<b>Output</b>	Menge	Einheit			
Palmkernöl	<b>24</b>	kg / t FFB	24	21,6	23,9
Presskuchen	<b>29</b>	kg / t FFB	28,8	26,4	27,7

### 3.3.2 Spezifikation der Koppelprodukte

Bei der Extraktion des rohen Palmöls bzw. Palmkernöls entstehen verschiedene feste, flüssige und gasförmige Koppelprodukte. Die folgenden Tabellen (Tabelle 3-18 bis Tabelle 3-20) enthalten Angaben zum Wassergehalt, dem Heizwert der festen Koppelprodukte Fasern, Schalen und leere Fruchtbündel (*empty fruit bunches*, EFB) sowie zum Proteingehalt des Palmkernpresskuchens (*palm kernel cake / expeller*, PKC / PKE).

**Tabelle 3-18** Wassergehalt der Koppelprodukte [%]

	<b>Diese Studie</b>	/Chavalparit 2006/	/Ma et al 1994/	/Menon et al. 2003/	/Schuchardt et al. 2005/	/Basiron & Weng 2004/
Fasern	<b>40</b>		42		40	40
Schalen	<b>10</b>		7			10
Leere Fruchtbündel	<b>65</b>	68,7	65	65	65	50

Der Wassergehalt der Koppelprodukte wird vom IFEU in Anlehnung an die übrigen Publikationen bei Fasern auf 40%, bei Schalen auf 10% und bei leeren Fruchtbündeln (EFB) auf 65% festgesetzt.

**Tabelle 3-19** Heizwerte der Koppelprodukte [MJ (kg TM)<sup>-1</sup>]

	<b>Diese Studie</b>	/Chavalparit 2006/	/Ma et al 1994/	/Menon et al. 2003/	/Nasrin et al. 2008/	/Basiron & Weng 2004/
Fasern	<b>19</b>	19,5	18,5		19,1	19,22
Schalen	<b>20</b>	17,5	20,7		20,1	21,44
Leere Fruchtbündel	<b>18</b>		15,5	6 *	18,8	20,47

\* bezogen auf Feuchtmasse

Für die Heizwerte der Koppelprodukte schlägt das IFEU Werte auf Basis von /Nasrin et al. 2008/ vor, da dies die aktuellsten verfügbaren Werte sind.

**Tabelle 3-20** Proteingehalt des Presskuchens [%]

	<b>Diese Studie</b>	/Tang 2001/	/Alimon 2004/	/Ng 2004/
Proteingehalt PKC	<b>15</b>	14	17	17

Der Proteingehalt des Presskuchens wurde vom IFEU auf 15% angesetzt, auf Basis von verschiedenen Studien, wie in Tabelle 3-20 angegeben.

## 4 Anwendungsmöglichkeit der Sachbilanzdaten

### Dokumentation

Ziel der Dokumentation der Sachbilanzdaten in Kapitel 3 ist es, dem Anwender – zusätzlich zu den in den EcoSpold-Modulen enthaltenen Kommentaren – Informationen zu Datenqualität (Datenherkunft, Ableitungen, Annahmen und Datenlücken) sowie Prozessdaten (Massen- und Energiebilanzen, Spezifikationen der Koppelprodukte) zur Verfügung zu stellen. Damit können einzelne Daten gezielt verändert oder zusätzliche Szenarien entwickelt werden.

### Beispiele für Szenarien

Im Folgenden werden einige Beispiele für mögliche Szenarien vorgestellt, die sich aus der Kombination verschiedener Module zu Landnutzungsänderungen (Kapitel 3.1), Biomasseproduktion (Kapitel 3.2) und Konversionsprozess (Kapitel 3.3) zusammensetzen.

Eine direkte Landnutzungsänderung findet statt, wenn eine Ölpalmenplantage nicht auf vorhandenen Ackerflächen errichtet wird, sondern Wald- oder Graslandökosysteme ersetzt. Im Falle einer Moorentwässerung treten CO<sub>2</sub>-Emissionen auch noch viele Jahre nach der eigentlichen Landnutzungsänderung auf.

- **Ehemalige Landnutzung:** Höhe der (einmaligen) CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. -Einsparungen durch Veränderung des Kohlenstoffvorrats von Naturwald, Moorwald oder Brache (degradierte Fläche) bei Landnutzungsänderung zu einer Ölpalmenplantage

Hier stehen dem Anwender in EcoSpold drei Module zur Verfügung: „LUC (Land use change) trop. forest org.“ für den Moorwald, „LUC trop. forest min.“ für den Naturwald und „LUC degr. land“ für die degradierte Fläche. Alle drei Module haben als Bezugseinheit 1 Hektar Flächenbelegung.

- **Entwässerung:** kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Emissionen aus organischen Böden bei Umwidmung eines Moorwaldes zu einer Ölpalmenplantage, im Zuge derer eine Entwässerung erforderlich ist

Hier steht dem Anwender in EcoSpold ein Modul zur Verfügung: „Org. soil emiss. from LUC“, das nur in Kombination mit der Rodung von Moorwald zur Anwendung kommt. Die Bezugseinheit ist hier 1 Hektar x Jahr.

Hinsichtlich der Biomasseproduktion und -konversion können verschiedene Szenarien für Bodentyp (ergibt sich aus der ehemaligen Landnutzung), Flächenertrag und Plantagenerneuerung kombiniert werden:

- **Bodentyp:** Ölpalmenanbau auf mineralischen bzw. auf organischen Böden, wobei bei letzteren zusätzliche N<sub>2</sub>O-Emissionen anfallen

Hier stehen dem Anwender in EcoSpold zwei Module zur Verfügung: „Org. soil cultivation“, wenn organische Böden genutzt werden und „Min. soil cultivation“, wenn mineralische Böden genutzt werden. Beide Module haben als Bezugseinheit 1 Hektar x Jahr.

- **Art der Bewirtschaftung:** typische bzw. gute Bewirtschaftung einer Plantage und Ölmühle und damit verbundene unterschiedliche Aufwendungen für die Biomasseproduktion (Düngemittel) und den Konversionsprozess

Hier stehen dem Anwender in EcoSpold zwei Module zur Verfügung: „Typical cultivation“, wenn typische Bewirtschaftung angesetzt wird, „Good cultivation“, wenn gute Bewirtschaftung zugrunde gelegt wird. Beide Module haben als Bezugseinheit 1 kg rohes Palmöl.

- **Plantagenerneuerung:** Plantagenerneuerung mechanisch bzw. durch Brandrodung, wobei bei letzterer weitere Treibhausgasemissionen auftreten

Hier stehen dem Anwender in EcoSpold wiederum zwei Module zur Verfügung: „Plantation burning“, wenn eine Brandrodung der Plantage angesetzt wird und „No plantation burning“, wenn zur Vorbereitung mechanische Verfahren zugrunde gelegt werden. Beide Module haben als Bezugseinheit 1 Hektar Flächenbelegung.

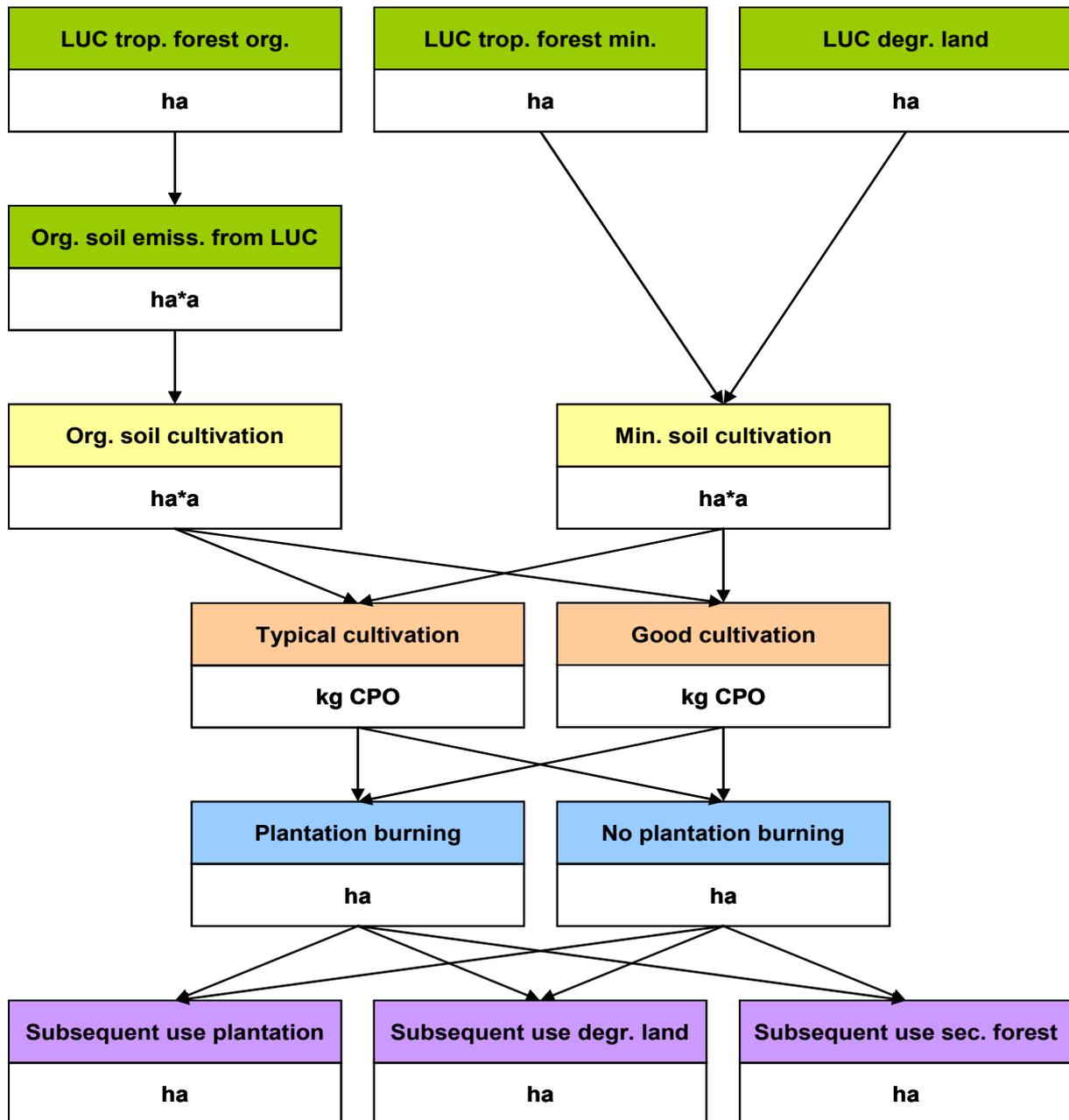
Am Ende eines Plantagenzyklus (typischerweise nach 25 Jahren) kann die Ölpalmenplantage entweder erneuert (kontinuierliche Nutzung) oder aufgegeben werden.

- **Zukünftige Landnutzung:** Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. -Einsparungen durch Veränderung des Kohlenstoffvorrats der Ölpalmenplantage bei Landnutzungsänderung zu Sekundärwald bzw. Brache (degradierte Fläche)

Hier stehen dem Anwender in EcoSpold drei Module zur Verfügung: „Subsequent use plantation“, falls eine kontinuierliche Plantagenbewirtschaftung zugrunde gelegt wird, „Subsequent use degr. land“, falls sich nach Aufgabe der Nutzung eine degradierte Fläche bildet und „Subsequent use sec. for“, falls sich nach Aufgabe der Nutzung ein Sekundärwald entwickelt. Alle drei Module haben als Bezugseinheit 1 Hektar Flächenbelegung.

### **Aufbereitung der Daten im EcoSpold-Format**

Diese 13 Module im EcoSpold-Format können vom Anwender zu insgesamt 72 Datensätzen kombiniert werden (Abbildung 4-1). Dabei ist insbesondere zu beachten, dass die Daten in den Modulen mit unterschiedlichen Bezügen versehen sind. Die Verknüpfung der auf Hektar und Jahr (ha\*a) bezogenen Module mit den auf Kilogramm rohes Palmöl (kg CPO) bezogenen erfolgt über den Flächenertrag, wobei der Anwender zwischen einem „typischen“ und einem „guten“ Flächenertrag wählen kann.



**Abbildung 4-1** Verfügbare Module im EcoSpold-Format (LUC = land use change)

Bei dem auf Hektar und Jahr (ha\*a) bezogenen Modul „Org. soil emiss. from LUC“ ist zu beachten, dass die angegebenen Emissionen zwar kontinuierlich auftreten, jedoch nur so lange, bis der gesamte Kohlenstoffvorrat im Boden erschöpft ist. Dieser Maximalvorrat ist als Kommentar im Datensatz angegeben.

Die auf Hektar (ha) bezogenen Module müssen durch die Wahl eines Zeitbezugs auf Hektar und Jahr (ha\*a) umgerechnet werden. So können die im Zuge von Landnutzungsänderung einmalig auftretenden Treibhausgasemissionen dem Palmöl in unterschiedlicher Weise angerechnet werden, beispielsweise durch eine gleichmäßige Aufteilung über einen gewissen Zeitraum (siehe Kapitel 2.6).

## 5 Fortschreibung und Aktualisierung der Daten

Die Dokumentation der Sachbilanzdaten bietet eine gute Grundlage für künftige Ökobilanzen. Allerdings gibt es in einigen Bereichen noch Unsicherheiten.

Das betrifft zum einen die Landnutzungsänderungen. Hier zeigt Kapitel 3 einige Lücken hinsichtlich der Daten, so dass sich zum Teil noch erheblicher Forschungsbedarf ergibt. Dies betrifft z. B. die Kohlenstoffgehalte der Moorböden, die Modellierung von Moorbränden und den Biomassegehalt aller Ökosysteme.

Zum anderen ist hinsichtlich der Daten zu Biomasseproduktion und -konversion davon auszugehen, dass beispielsweise die Flächenerträge zukünftig durch züchterische Fortschritte und effizientere Anbaupraktiken steigen werden, und die Daten dementsprechend angepasst werden müssen.

Zum Dritten ist zu erwarten, dass der heute eher suboptimale Umgang mit Abfällen und Koppelprodukten in den Ölmühlen ebenso wie die Effizienz der Extraktion verbessert wird.

Dieser Bericht zeigt, dass es sinnvoll ist, die hier begonnene Arbeit fortzusetzen und auch auf andere Nawaro anzuwenden. Wie das im Einzelnen für die Zukunft gestaltet werden kann, muss im weiteren Verlauf des Arbeitskreises „Nachwachsende Rohstoffe“ geklärt werden.

## 6 Literatur

- /Alimon 2004/ Alimon, A.R.: The Nutritive Value of Palm Kernel Cake for Animal Feed. *Palm Oil Developments* 40: 12-14
- /Basiron & Weng/ Basion, Y. & Weng, C.K.: The oil palm and its sustainability. *Journal of Oil Palm Research* 16(1): 1-10
- /BioNachV-Entwurf 2007/ Entwurf einer Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV v. 24.10.2007. Online erhältlich unter:  
[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/Nachhaltigkeits-VO24.10\\_1.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/Nachhaltigkeits-VO24.10_1.pdf) (Stand: 28.10.2007)
- /Chavalparit 2006/ Chavalparit, O.: Clean Technology for the Crude Palm Oil Industry in Thailand. PhD thesis, Wageningen University, 2006
- /Christian et al. 2003/ Christian, T.J., Kleiss, B., Yokelson, R.J., Holzinger, R., Crutzen, P.J., Hao, W.M., Saharjo, B.H. & Ward, D.E.: Comprehensive laboratory measurements of biomass-burning emissions: 1. Emissions from Indonesian, African, and other fuels. *Journal of Geophysical Research* 108(D23): 4719-4731
- /Crutzen et al. 2007/ Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith, K.A. & Winiwarter, W.: N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8: 389-395
- /Fritsche 2007/ Fritsche, U.: GHG Accounting for Biofuels: Considering CO<sub>2</sub> from Leakage. Öko-Institut, Darmstadt, 2007
- /Germer & Sauerborn 2007/ Germer, J. & Sauerborn, J.: Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment, Development and Sustainability* (Online First)
- /Helms et al. 2006/ Helms, H., Reinhardt, G.A. & Rettenmaier, N.: Bioenergie aus Palmöl – Ökologische Chancen und Risiken. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 56(11): 70-73
- /Hooijer et al. 2006/ Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. & Page, S.: Peat-CO<sub>2</sub>, Assessment of CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics, Amsterdam, 2006
- /IFEU 2007a/ Eigene Abschätzungen und Berechnungen. Heidelberg, 2007
- /IFEU 2007b/ Reinhardt, G.A., Rettenmaier, N. & Gärtner, S.O.: „Palmöl als Bioenergieträger“ (Kap. 2) und „Umweltwirkungen der Palmöl-Produktion“ (Kap. 4) in: WWF Deutschland (Hrsg.): *Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl*. Frankfurt am Main, 2007
- /IFEU et al. 2007/ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI) & Forschungsstelle Umweltenergierecht (FUER): Sozial-ökologische Bewertung der stationären energetischen Nutzung von importierten Biokraftstoffen am Beispiel von Palmöl. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Heidelberg/ Wuppertal/ Würzburg, (Im Druck)

- /IPCC 1996/ Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. IPCC, OECD & IEA, Geneva/ Paris/ Paris, 1996
- /IPCC 2003/ Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2003
- /IPCC 2006/ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2006
- /IPCC 2007/ Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2007
- /Jungk & Reinhardt 2000/ Jungk, N. & Reinhardt, G.A.: Landwirtschaftliche Referenzsysteme in ökologischen Bilanzierungen. Eine Basisanalyse. IFEU, Heidelberg, 2000
- /Lasco 2002/ Forest carbon budgets in Southeast Asia following harvesting and land cover change. Science in China Series C 45 Supp.: 55-64
- /Lasco et al. 2002/ Lasco, R.D., Lales, J.S., Arnuevo, M.T., Guillermo, I.Q., de Jesus, A.C., Medrano, R., Bajar, O.F. & Mendoza, C.V.: Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) storage and sequestration of land cover in the Leyte Geothermal Reservation. Renewable Energy 25: 307-315
- /Lasco & Pulhin 2003/ Lasco, R.D. & Pulhin, F.B.: Philippine Forest Ecosystems and Climate Change: Carbon stocks, Rate of Sequestration and the Kyoto Protocol. Annals of Tropical Research 25: 37-51
- /Ma et al. 1994/ Ma, A.N., Choo, Y.M. & Yusof, B.: Renewable energy from the palm oil industry. Elaeis 2(2): 138-146
- /Menon et al. 2003/ Menon, N.R., Zulkifli, A.R. & Nasri, A.B.: Empty Fruit Bunches Evaluation: Mulch in Plantation vs. Fuel for Electricity Generation. Oil Palm Industry Economic Journal 3(2): 15-20
- /Michalzik 2007/ Michalzik, B. (Abteilung Landschaftsökologie, Georg-August-Universität Göttingen): Schriftliche Mitteilung vom 17.10.2007
- /MPOB 2006/ Malaysian Oil Palm statistics 2004 – Planted area and yield 2004. <http://www.mpob.gov.my/html/issue/issue08.htm>
- /Mutert & Fairhurst 1999/ Mutert, E.W. & Fairhurst, T.H.: Oil Palm – The Great Crop of South East Asia: Potential, Nutrition and Management. Paper presented at the IFA Regional Conference for Asia and the Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, 14-17 November 1999
- /Nasrin et al. 2008/ Nasrin, A.B., Ma, A.N., Choo, Y.M., Mohamad, S., Rohaya, M.H., Azali, A. & Zainal, Z.: Oil Palm Biomass As Potential Substitution Raw Materials For Commercial Biomass Briquettes Production. American Journal of Applied Sciences 5(3): 179-183
- /Ng 2004/ Ng, W.K.: Researching the Use of Palm Kernel Cake in Aquaculture Feeds. Palm Oil Developments 41: 19-21
- /Özdemir & Eltrop 2007/ Özdemir, D. & Eltrop, L. (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart): Schriftliche Mitteilung vom 15.10.2007

- /Page 2007/ Page, S.E. (Department of Geography, University of Leicester): Mündliche Mitteilung vom 11.10.2007
- /Reijnders & Huijbregts 2008/ Reijnders, L. & Huijbregts, M.A.J.: Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production* 16(4): 477-482
- /Schmidt 2007/ Schmidt, J.H.: life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. PhD thesis, Part 3: Life cycle inventory of rapeseed oil and palm oil. Department of development and Planning, Aalborg University, 2007
- /Schuchardt et al. 2005/ Schuchardt, F., Wulfert, K., Darnoko, D.: Neues Verfahren zur kombinierten Behandlung von Abfällen und Abwasser aus Palmölmühlen - technische, ökonomische und ökologische Aspekte. *Landbauforschung Völkenrode* 55: 47-60
- /Syahrudin 2005/ Syahrudin, A.: The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005
- /Tang 2001/ Quality and Characteristics of Malaysian Palm Kernel Cakes/Expellers. *Palm Oil Developments* 34: 1-3
- /Wicke et al. 2007/ Wicke, B., Dornburg, V., Faaij, A. & Junginger, M. (2007): A Greenhouse Gas Balance of Electricity Production from Co-Firing Palm Oil Products from Malaysia. Copernicus Institute, Utrecht University, 2007
- /Wösten 2007/ Wösten, H. (Alterra, Wageningen University and Research Centre): Schriftliche Mitteilung vom 08.10.2007.
- /Yacob et al. 2005/ Yacob, S., Hassan, M.A., Shirai, Y., Wakisaka, M. & Subash, S.: Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. *Chemosphere* 59: 1575–1581
- /Yacob et al. 2006/ Yacob, S., Hassan, M.A., Shirai, Y., Wakisaka, M. & Subash, S.: Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent. *Science of the Total Environment* 366: 187-196
- /Yusoff & Hansen 2007/ Yusoff, S. & Hansen, S.B.: Feasibility study of performing an life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. *International Journal of Life Cycle Assessment* 12(1): 50-58

## Abkürzungen

**Tabelle 0-1** Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung	Übersetzung
a	Annum	Jahr
C		Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>		Methan
CO <sub>2</sub>		Kohlenstoffdioxid
CPKO	Crude Palm Kernel Oil	Rohpalmkernöl
CPO	Crude Palm Oil	Rohpalmöl
DM		Düngemittel
DOM	Dead organic matter	Tote organische Substanz
EF	Emission factor	Emissionsfaktor
EFB	Empty Fruit Bunches	Leere Fruchtbündel
FFB	Fresh Fruit Bunches	Reife Fruchtbündel
GWP	Global warming potential	Treibhauspotenzial
ha		Hektar
IPCC	International Panel on Climate Change	Weltklimarat
LUC	Land use change	Landnutzungsänderung
k.A.		Keine Angaben
kg		Kilogramm
kWh		Kilowattstunde
L		Liter
N		Stickstoff
N <sub>2</sub> O		Distickstoffmonoxid (Lachgas)
PKC	Palm Kernel Cake	Palmkernpresskuchen
POME	Palm Oil Mill Effluent	Ölmühlenabwasser
SOC	Soil organic carbon	Organische Bodensubstanz
t		Tonne
TM		Trockenmasse

## 7 Anhang

### 7.1 Ableitung der Kohlenstoffvorräte tropischer Ökosysteme

#### Naturwald

Der IFEU-Wert von  $200 \text{ t C ha}^{-1}$  wurde für tropische Naturwälder gemäß der Daten in /IPCC 2006/ berechnet (Tabelle 7-1), indem die Werte aus vier verschiedenen Regionen (Südamerika, Afrika, Kontinentalasien und insulares Asien) gemittelt wurden. Die IPCC-Publikation stellt die umfangreichste und aktuellste Datensammlung zu diesem Thema dar.

/Germer & Sauerborn 2006/ veranschlagen  $171 \text{ t C ha}^{-1}$ , gestützt auf 73 verschiedene Studien. Weitere Publikationen wie /Wicke et al. 2007/ oder /Reijnders & Huijbregts 2008/ berücksichtigen nur die oberirdische Phytomasse und kommen auf 172 bzw.  $235 \text{ t C ha}^{-1}$ , basierend auf /IPCC 2006/ bzw. /Henson 2005/<sup>1</sup>. Alle Werte liegen jedoch innerhalb der IFEU-Bandbreite von  $100 - 350 \text{ t C ha}^{-1}$ .

**Tabelle 7-1** Kohlenstoffvorrat der Phytomasse von tropischem Regenwald

	Einheit	Std.	Min.	Max.	Erläuterungen	Quelle
Biomasse oberirdisch	t TM / ha	310	163	528	Trop. Regenwald	IFEU auf Basis von /IPCC 2006/ Tab. 4.7, S. 4.53
TM <sub>unt</sub> / TM <sub>ob</sub>	t TM <sub>unt</sub> / t TM <sub>ob</sub>	0,37	0,37	0,37	Feuchter, laubabwerfender trop. Regenw.	/IPCC 2006/ Tab. 4.4, S. 4.49
Biomasse unterirdisch	t TM / ha	115	60	195		Berechnet
Biomasse gesamt	t TM / ha	425	223	723		Berechnet
C-Gehalt	%	47%	44%	49%	Tropisch u. subtrop., alle Pflanzenteile	/IPCC 2006/ Tab. 4.3, S. 4.48
C-Vorrat oberirdisch	t C / ha	146	72	258		Berechnet
C-Vorrat unterirdisch	t C / ha	54	26	96		Berechnet
C-Vorrat gesamt	t C / ha	200	98	354		Berechnet
<b>IFEU-Wert</b>	<b>t C / ha</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>350</b>		Gerundet

#### Logged-over forest

In der Regel wird in Naturwäldern vor der endgültigen Brandrodung sämtliches Nutzholz selektiv entfernt. Dadurch verringert sich der Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse nach /Lasco 2002/ um 22-67% (Indonesien: 25-62%). Durch das Entfernen der Bäume stirbt auch deren unterirdische Biomasse ab und wird langsam mineralisiert, d. h. in CO<sub>2</sub> umge-

<sup>1</sup> Henson gibt einen Wert von  $235 \text{ t ha}^{-1}$  für die Phytomasse an, nicht jedoch für den Kohlenstoff

wandelt. Das IFEU schlägt daher eine mittlere Reduktion der ober- und unterirdischen Biomasse um 50% vor, d. h. der Kohlenstoffvorrat eines solchen „logged-over forest“ betrage rund 100 t C ha<sup>-1</sup> (Tabelle 7-2).

/Wicke et al. 2007/ geben für logged-over forest einen oberirdischen Kohlenstoffvorrat von 86 t ha<sup>-1</sup> an, /Schmidt 2007/ setzt 138 t ha<sup>-1</sup> an, wobei er aber keine klare Trennung zwischen logged-over forest und Sekundärwald vornimmt.

**Tabelle 7-2** Kohlenstoffvorrat der Phytomasse von logged-over forest

	Einheit	Std.	Quelle / Ableitung
C-Vorrat Naturwald	t C / ha	200	Tabelle 7-1
C-Verlust	%	50%	/IFEU 2007a/ auf Basis von /Lasco 2002/
C-Vorrat Logged-over forest	t C / ha	100	Berechnet
<b>IFEU-Wert</b>	<b>t C / ha</b>	<b>100</b>	

### Sekundärwald

Der Kohlenstoffvorrat für Sekundärwald in Tabelle 7-3 wurde in Anlehnung an /IPCC 2003/ abgeleitet, da diese Kategorie in der jüngsten IPCC-Publikation nicht mehr aufgeführt ist.

**Tabelle 7-3** Kohlenstoffvorrat der Phytomasse von Sekundärwald

	Einheit	Std.	Min.	Max.	Erläuterungen	Quelle
Biomasse oberirdisch	t TM / ha	125	125	125	Tropischer / subtropischer Sekundärwald	/IPCC 2003/ Tab. 3.A.1.8, S. 3.168
TM <sub>unt</sub> / TM <sub>ob</sub>	t TM <sub>unt</sub> / t TM <sub>ob</sub>	0,42	0,14	0,83		/IPCC 2003/ Tab. 3.A.1.8, S. 3.168
Biomasse unterirdisch	t TM / ha	53	18	104		Berechnet
Biomasse gesamt	t TM / ha	178	143	229		Berechnet
C-Gehalt oberirdisch	%	47%	44%	49%	Tropisch und subtrop., alle Pflanzenteile	/IPCC 2006/ Tab. 4.3, S. 4.48
C-Gehalt oberirdisch	t C / ha	59	55	61		Berechnet
C-Gehalt unterirdisch	t C / ha	25	8	51		Berechnet
C-Gehalt gesamt	t C / ha	83	63	112		Berechnet
<b>IFEU-Wert</b>	<b>t C / ha</b>	<b>100</b>	<b>60</b>	<b>110</b>		Gesetzt

Mit 100 t C ha<sup>-1</sup> (60 – 110) wurde der Wert eher am oberen Ende der Bandbreite angesetzt, da in verschiedenen Studien große Differenzen zu den IPCC-Werten auftauchen; z. B. werden in /Lasco & Pulhin 2003/ im Mittel 207 t C ha<sup>-1</sup> für Sekundärwald ausgewiesen, allerdings für die Philippinen.

## Brache

Der Kohlenstoffvorrat von tropischem Grasland in Tabelle 7-4 wurde in Anlehnung an /IPCC 2006/ berechnet. Allerdings wurde dann ein Wert von  $10 \text{ t C ha}^{-1}$  gewählt, da die Diskrepanz zu Arbeiten von /Lasco et al. 2002/ und /Germer & Sauerborn 2007/ sehr groß war, die  $10,8$  bzw.  $11 \text{ t C ha}^{-1}$  angeben. /Wicke et al. 2007/ berücksichtigten bei ihrem Wert von  $2,5 \text{ t C ha}^{-1}$  nur die oberirdische Phytomasse nach /IPCC 2006/ (C-Gehalt: 40%). /Schmidt 2007/ zog vermutlich den IPCC-Phytomasse-Wert von  $16 \text{ t TM ha}^{-1}$  heran, ohne auf Kohlenstoff umzurechnen.

**Tabelle 7-4** Kohlenstoffvorrat der Phytomasse von tropischem Grasland

	Einheit	Std.	Erläuterungen	Quelle	
Biomasse oberirdisch	t TM / ha	6,2	Tropisch – Nass & feucht	/IPCC 2006/	Tab. 6.4, S. 6.27
TM <sub>unt</sub> / TM <sub>ob</sub>	t TM <sub>unt</sub> / t TM <sub>ob</sub>	1,6	Subtropisches / tropisches Grasland	/IPCC 2006/	Tab. 6.1, S. 6.8
Biomasse unterirdisch	t TM / ha	9,9		Berechnet	
Biomasse gesamt	t TM / ha	16,1		Berechnet	
C-Gehalt oberirdisch	%	47%	Tropisch und subtropisch, alle Pflanzenteile	/IPCC 2006/	S. 6.29
C-Gehalt oberirdisch	t C / ha	2,9		Berechnet	
C-Gehalt unterirdisch	t C / ha	4,7		Berechnet	
C-Gehalt gesamt	t C / ha	7,6		Berechnet	
<b>IFEU-Wert</b>	<b>t C / ha</b>	<b>10</b>		/Lasco et al. 2002/	

## Ölpalmenplantage

Für den Ökobilanzierer sind zwei Werte für den Kohlenstoffvorrat von Interesse: zum einen die Menge an Kohlenstoff, die über den Plantagenzyklus von 25 Jahren durchschnittlich pro Fläche gebunden ist und zum anderen der oberirdische Kohlenstoffvorrat am Ende des Plantagenzyklus. Letzterer ist für die Berechnung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen durch das Abbrennen der Plantagen von Bedeutung, während der durchschnittliche Wert für die Berechnung der Kohlenstoffdifferenz herangezogen wird.

**Tabelle 7-5** Ober- und unterirdische Phytomasseverteilung in Ölpalmenplantagen in Sumatra, Indonesien /Syahrudin 2005/ [t TM ha<sup>-1</sup>]

Alter	Unterirdische Phytomasse	Oberirdische Phytomasse			Gesamte Phytomasse
		Streu	Unterwuchs	Palme	
3	13,3	4,7	1,2	21,7	41
10	25,0	5,1	1,6	86,3	118
20	40,1	15,7	3,6	98,4	158
30	52,4	17,9	3,2	130,7	204

Zur Ermittlung des Phytomasse-C-Vorrats für die Jahre 1 – 25 wurden Regressionskurven an die in Tabelle 7-5 aufgeführten Werte von /Syahrudin 2005/ angelegt. Durchschnittsvorräte über 25 Jahre und Vorräte nach 25 Jahren können Tabelle 7-6 entnommen werden.

**Tabelle 7-6** Kohlenstoffvorrat der Phytomasse von Ölpalmenplantagen: Durchschnitt über 25 Jahre ( $\emptyset$ ) sowie Vorrat nach 25 Jahren (V 25)

Alter	Einheit	Oberirdische Phytomasse / Kohlenstoff				Gesamte Phytomasse / Kohlenstoff
		Unterirdische Phytomasse / Kohlenstoff	Ölpalme	Streu	Unterwuchs	
$\emptyset$	t TM / ha	31	80	9	2	124
V 25	t TM / ha	45	119	16	3	183
C-Gehalt	%	41%	41%	41%	41%	41%
$\emptyset$	t C / ha	13	33	4	1	51
V 25	t C / ha	19	<b>49</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	75
		Ölpalme gesamt		DOM gesamt		Plantage
<b>IFEU-<math>\emptyset</math></b>	<b>t C / ha</b>	<b>45</b>		<b>5</b>		<b>50</b>

Damit beträgt der **durchschnittliche** Kohlenstoffvorrat ( $\emptyset$ ) der gesamten Phytomasse einer Ölpalmenplantage rund 50 t C ha<sup>-1</sup>, von denen 5 t C ha<sup>-1</sup> auf Streu und Unterwuchs (DOM) sowie 45 t C ha<sup>-1</sup> auf die Ölpalmen (inklusive unterirdischer Phytomasse) entfallen. Der **oberirdische** Kohlenstoffvorrat (Ölpalme, Streu und Unterwuchs) nach 25 Jahren (V 25) beläuft sich auf etwa 57 t C ha<sup>-1</sup>.

/Wicke et al. 2007/ geben für 25-jährige Ölpalmen einen oberirdischen Kohlenstoffvorrat von 50 t ha<sup>-1</sup> an, /Schmidt 2007/ verwendet einen Wert von 32 t C ha<sup>-1</sup> für die gesamte Phytomasse einer Ölpalmenplantage, /Germer & Sauerborn 2007/ und /Reijnders & Huijbregts 2008/ veranschlagen 35 bzw. 48 t C ha<sup>-1</sup>.

Keiner der Autoren gibt an, dass es sich dabei um einen durchschnittlichen Kohlenstoffvorrat über 25 Jahre handelt, obwohl genau dieser für den Kohlenstoffverlust (bzw. -gewinn) die entscheidende Größe darstellt. Daher wird vorgeschlagen, nach der IFEU-Ableitung vorzugehen, die zu einem durchschnittlichen Kohlenstoffvorrat von rund 50 t C ha<sup>-1</sup> führt.

### Organische Bodensubstanz (Moorboden)

Der Kohlenstoffvorrat der organischen Bodensubstanz von tropischen Moorböden wurde mittels einer Expertenschätzung /Wösten 2007/ sowie der Studie von /Hooijer et al. 2006/ abgeleitet. Über die von /Wösten 2007/ abgeschätzte Bodendichte von Torf und den Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz konnte der Kohlenstoffvorrat pro Meter Torfmächtigkeit berechnet werden. Die durchschnittliche Torfmächtigkeit wiederum wurde auf Basis von /Hooijer et al. 2006/ bestimmt: der Klasseneinteilung in dieser Publikation zufolge weist der Großteil der südostasiatischen Moorgebiete eine Torfmächtigkeit von 0,75 – 3 m auf, vereinzelt sind die Torfe jedoch über 10 m mächtig. Als relativ konservativer Standardwert wurde vom IFEU eine durchschnittliche Torfmächtigkeit von 2 m angesetzt und um eine Bandbreite ergänzt, die sich von 1 – 3 m erstreckt. Der Kohlenstoffvorrat der Moorböden ist z. B. für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge von Entwässerung oder Moorbränden von großer Bedeutung. Andere uns bekannte Studien machen hierzu leider keine Angaben, so dass das IFEU die in Tabelle 7-7 aufgeführten Werte vorschlägt.

**Tabelle 7-7** Kohlenstoffvorrat der organischen Bodensubstanz von tropischen Moorböden

	Einheit	Std.	Min.	Max.	Quelle
Bodendichte Torf	g OS/cm <sup>3</sup>	0,1	0,05	0,15	/Wösten 2007/
C-Gehalt org. Substanz	kg C / kg OS	0,6	0,5	0,7	/Wösten 2007/
C-Gehalt Boden	kg C / m <sup>3</sup>	60	25	105	Berechnet
C-Vorrat	t C / ha*m	600	250	1050	Berechnet
Torfmächtigkeit	m	2	1	3	/IFEU 2007a/ auf Basis von /Hooijer et al. 2006/
<b>IFEU-Wert</b>	<b>t C / ha*Mächtigkeit</b>	<b>1200</b>	<b>250</b>	<b>3150</b>	Berechnet

## 7.2 Emissions- und Verbrennungsfaktoren

In /IPCC 2006/ sind Emissionsfaktoren für eine Reihe von Phytomassen angegeben, u. a. für tropischen Wald, Savanne & Grasland oder landwirtschaftliche Reststoffe (Tabelle 7-8). Leider fehlt ein entsprechender Wert für Torf, so dass dieser abgeleitet werden musste.

**Tabelle 7-8** Emissionsfaktoren von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O [g kg<sup>-1</sup> verbrannte Trockenmasse] für verschiedene Brennstoffe

	Emissionsfaktor						Quelle
	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		
Tropischer Wald	<b>1580</b>		<b>6,8</b>		<b>0,20</b>		/IPCC 2006/ Tab. 2.5, S. 2.47
	1490	1670	4,8	8,8	-	-	
Grasland	<b>1613</b>		<b>2,3</b>		<b>0,21</b>		/IPCC 2006/ Tab. 2.5, S. 2.47
	1518	1708	1,4	3,2	0,11	0,31	
Landwirtschaftl. Reststoffe	<b>1515</b>		<b>2,7</b>		<b>0,07</b>		/IPCC 2006/ Tab. 2.5, S. 2.47
	1338	1692	-	-	-	-	
Torf	<b>1792</b>		<b>22</b>		<b>0,20</b>		/IFEU 2007a/ auf Basis von /Christian et al. 2003/
	1493	2091	18	26	-	-	

Auf Basis von /Christian et al. 2003/, die Emissionsfaktoren u. a. auch für indonesischen Torf mit einem Kohlenstoffgehalt von 57% veröffentlichten, leitete das IFEU Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> ab für Torf-Kohlenstoffgehalte von 50%, 60% und 70% (siehe Tabelle 7-7) ab. Dazu wurde das von /Christian et al. 2003/ bestimmte Verhältnis von CO<sub>2</sub> zu CH<sub>4</sub> herangezogen. Für N<sub>2</sub>O war dies leider nicht möglich, so dass hier in Ermangelung besserer Zahlen der Emissionsfaktor für tropischen Wald übernommen wurde. Dies sollte selbstverständlich angepasst werden, sobald entsprechende Forschungsergebnisse vorliegen.

Die Verbrennungsfaktoren (Tabelle 7-9) sind in /IPCC 2006/ für sämtliche betrachteten Phytomassen verfügbar. Für Grasland wurde aufgrund der Vielzahl der Angaben (für verschiedene Brandzeitpunkte) vom IFEU ein gerundeter Mittelwert aus tropisch / subtropischem Grasland gebildet und entsprechende Werte gesetzt.

**Tabelle 7-9** Verbrennungsfaktoren [Anteil der verbrannten Trockenmasse] für verschiedene Verbrennungsarten

	Verbrennungs-faktor		Erläuterungen	Quelle	
Tropischer Primärwald	<b>0,5</b> 0,47	0,53	Primary tropical moist forest	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.48
Tropischer Sekundärwald	<b>0,55</b> 0,49	0,61	All secondary tropical forests	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.48
Grasland	<b>0,85</b> 0,75	0,95	Gerundeter Mittelwert aus Tropical/sub-tropical grassland (0,74 – 0,92)	/IFEU 2007a/ auf Basis von /IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.49
Torf	<b>0,7</b> -	-	Tropical wetlands	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.49
Landwirtschaftl. Reststoffe	<b>0,8</b> -	-	Agricultural residues	/IPCC 2006/	Tab. 2.6, S. 2.49