BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH

iLUC und Biokraftstoffe in der Analyse

Regionale Quantifizierung klimaschädlicher Landnutzungsänderungen und Optionen zu deren Bekämpfung

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Lahl

Oyten, den 28. October 2010

iLUC und Biokraftstoffe in der Analyse

Regionale Quantifizierung klimaschädlicher Landnutzungsänderungen und Optionen zu deren Bekämpfung

Studie im Auftrag von

Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDB^{e})
Reinhardtstraße 18
D-10117 Berlin

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP)
Claire-Waldoffstr. 7
D-10117 Berlin

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Lahl
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH
Lindenstr. 33
D-28876 Oyten
Tel. +49 4207 699 837/838
Fax. +49 4207 699 839
ul@bzl-gmbh.de
www.bzl-gmbh.de

Oyten, den 28. Oktober 2010

Gliederung

1 Executive Summary 1

2 Veranlassung 3

3 Fachliche Ausgangslage 4

4 Die iLUC-Hypothese - Analyse bisheriger Modelle zur Erfassung und Quantifizierung von iLUC 6

4.1 These 1: Biokraftstoffe führen indirekt zu Landnutzungsänderungen 6
4.1.1 Ökonometrische Modelle 7
4.1.2 Deterministische Modelle 14
4.1.3 Analyse und Bewertung der Modelle 16
4.2 These 2: Landnutzungsänderungen führen zu verstärkten Emissionen an Treibhausgasen 18
4.3 These 3: Biokraftstoffe stellen keinen sinnvollen Beitrag des Klimaschutzes dar 19
4.4 Alternativen zur Berechnung des iLUC-Effektes 23

5 Entwicklung eines regionalen Modells zur Berechnung von iLUC 26

5.1 Die wichtigsten Argumente für einen regionalen Ansatz 26
5.1.1 Steigerung der Erträge versus LUC 26
5.1.2 Inländische Entwicklungen 26
5.1.3 Bedeutung des Binnenhandels 27
5.1.4 Kein „freier" Weltagrarhandel 27
5.1.5 Strategische und politische Entscheidungen in den Regionen 28
5.2 Grundzüge eines regionalen Modells 29
5.2.1 Schritt 1 – Ermittlung von LUC 31
5.2.2 Schritt 2 – Ermittlung der CO_2-Emission durch LUC 31
5.2.3 Schritt 3 – Ermittlung des Biokraftstoffsektor-Anteils an den CO_2-Emission durch LUC 32
5.2.4 Schritt 4 – Ermittlung der CO_2-Emission des Biokraftstoffsektors durch iLUC 33
5.2.5 Schritt 5 – Optionen zur Allokation der iLUC-Emissionen 33
5.2.6 Auswahl einer Option 35
5.3 Anwendung des Modell auf Fallbeispiele (bei regionaler Allokation, s.o.) 39
5.3.1 Fallbeispiel A - Mittelgroßes tropisches Land / Palmöl 40
5.3.2 Fallbeispiel B – Großes tropisches Land / Soja & Zuckerrohr 41
5.3.3 Fallbeispiel C – Land in gemäßigter Klimazone / Getreide & Raps 42
5.3.4 Fazit Anwendung auf Fallbeispiele 43
5.4 Kritik am vorgeschlagenen Berechnungsmodell 43
5.5 Fazit „Regionales Modell" 46

6 Unterschiedliche Optionen zur Bekämpfung von indirect Land Use Change (iLUC] 46

6.1 Problemlösungen an der Wurzel 48

6.1.1 Gleichbehandlung aller Agrarsektoren durch eine umfassende dLUC-Regelung 48
6.1.2 Flächennutzungsplanung 49
6.1.3 Abschließen einer internationale Konvention zum Flächenschutz 50
6.2 Übergangslösungen 50
6.2.1 No action 50
6.2.2 Übergangslösung „Anforderungen nach EE verschärfen" 51
6.2.3 Übergangslösung „Zusätzliche Boni" 51
6.2.4 Übergangslösung „Schwarze Liste" 51
6.2.5 Übergangslösung „Bilaterale Verträge" 51
6.2.6 Übergangslösung „Einführung eines regionalen iLUC-Faktors" 52
6.2.7 Übergangslösung „Einführung eines globalen iLUC-Faktors" 52
6.2.8 Übergangslösung Einführung eines iLUC-Modells 53
6.3 Analyse der unterschiedlichen Handlungsoptionen im Vergleich 53

7 Fazit 56

8 Quellenverzeichnis 58

9 Anhang: Datengrundlagen zur Bestimmung von CS 63

Zum Autor:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Lahl war langjährig leitend auf verschiedenen Ebenen in deutschen Umweltverwaltungen (Stadt, Land, Bund) tätig, zuletzt als Ministerialdirektor im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. In diesen Funktionen war er u.a. mit Fragen der Instrumentierung von rechtlichen Regelungen befasst.

Heute lehrt Prof. Lahl an der Technischen Universität Darmstadt und der University of Indonesia in Jakarta und ist Geschäftsführer der BZL GmbH, ein auf umweltwissenschaftliche Fragen spezialisiertes Beratungsunternehmen.

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: iLUC-Effekte: Vergleich der Ergebnisse des GTAP und des FAPRI-Modells [19] 8
Abbildung 2: iLUC-Faktoren für Biokraftstoffe nach verschiedenen Studien [g CO_{2eq}/MJ] [20] 9
Abbildung 3: iLUC-Effekt ermittelt nach unterschiedlichen Agrarmodellen [6] 12
Abbildung 4: Vergleich der Systemgrenzen von Kraftstoffen [30] 20
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen fossiler Kraftstoffe (WTW) [31] 21
Abbildung 6: Internationale Landverpachtung [44] 28
Abbildung 7: Bioethanolproduktion und Regenwaldrodung in Brasilien [45] 29

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Published estimates of ILUC emissions induced by expansion of corn ethanol in the US and EU. 10
Tabelle 2: iLUC-Effekte berechnet mittels dreier Modelle [7] 11
Tabelle 3: Herleitung des CO_2-Emissionspotenzials durch iLUC nach Fritsche, zit. in [12] nach Öko-Institut/IFEU 2009 [24] 15
Tabelle 4: Beispielhafte Ableitung von iLUC-Faktoren nach dem Vorschlag von Fritsche (2007, 2009) unter Einbeziehung von Flächenertragswerten und Allokationswerten nach Fehrenbach et al. (2007) [25] 16
Tabelle 5: Indirect Carbon Intensity Increase Associated With Gulf of Mexico CH_4 Release, 100Prozent Gasoline Allocation Case [32] 22
Tabelle 6: Frequency of broad clusters of proximate causes in tropical deforestation [36] – Achtung: Kumulierte Werte in den Spalte “cum (Prozent)”. 25
Tabelle 7: Driving forces of tropical deforestation by scale of influence [37] 25
Tabelle 8: Korrekturfaktoren KF_{KP} für Agr^{R}_{xfuel} aufgrund des Anfalls von Kuppelprodukten, die landwirtschaftlich verwendet werden 36
Tabelle 9: Länder mit den höchsten Waldverlusten weltweit [49] 39
Tabelle 10: Fallbeispiel A: Mittelgroßes tropisches Land / Palmöl 40
Tabelle 11: Fallbeispiele B – Large tropical country, soy & sugar cane 41
Tabelle 12: Fallbeispiele C – Land im gemäßigter Klimazone / Getreide & Raps 42
Tabelle 13: Bilanz des Biomassebedarf für Deutschland für unterschiedliche Szenarien, nach [50] 47
Tabelle 14: Kohlenstoffbestand (in Vegetation und Boden) für unterschiedliche Landnutzungen, in Mg C/ha (verschiedene Quellen, insbesondere [29]) 63
Tabelle 15: CS der Vegetation in Mg C / ha (29) 64
Tabelle 16: CS im mineralischen Boden unterhalb der Vegetation, in Mg C/ha [29] 65
Tabelle 17: Emissionsfaktoren für entwässerte organische Böden in C je Hektar und Jahr [29] 65
Tabelle 18: Errechnung der Landnutzungsänderungswerte für eine Auswahl von Biokraftstoffen der „Default Tabelle“ der BioNachV 66

Abkürzungen

BL	Buschland
CL	Ackerland (Crop Land)
CO_{2eq}	Kohlendioxid-Äquivalente
CS	Kohlenstoffbestand (carbon stock)
dLUC	direkte Landnutzungsänderungen – direct land use change
dt	Dezitonne = 100 Kilogramm
EE-Richtlinie	EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen
FL	Waldland (Forest Land)
GD	Generaldirektion der EU-Kommission
GE	Getreideeinheit
GJ	Gigajoule = 1.000 Megajoule; 1 GJ = 280 kWh
GLtemp	Grasland, gemäßigt (englisch: temperate)
GLtrop	Grasland, tropisch
ha	Hektar; 1 ha = 10.000 m²
iLUC	indirekte Landnutzungsänderungen – indirect land use change
LUC	Landnutzungsänderungen – land use change; LUC = dLUC + iLUC
Mg	Megagramm, 1.000 kg, früher „t" für „Tonne" (ton)
MJ	Megajoule; 1 MJ = 0,28 kWh
NGOs	Nicht-staatliche Organisationen (Non-governmental organizations)
OL	Sonstiges Land (Other Lands)
RFL	Regenwaldland (Rain Forest Land)
THG	Treibhausgas(e)
WL	Feuchtland (Wet Land)
WTW	Well to wheel

1 Executive Summary

Der Anlass für diese Studie ist der von der EU-Kommission bis zum Jahresende 2010 abzufassende Bericht über die Auswirkungen der EU-Biokraftstoffpolitik. In ihrer Politik setzt die EU aus Klimaschutzgründen auf einen weiteren Ausbau der Biomassenutzung – nicht nur für den Transportsektor. Bezüglich der Auswirkungen der EU-Biokraftstoffpolitik geht es auch um die Frage, ob und wie indirekte Landnutzungsänderungen hervorgerufen durch Biokraftstoffe mit Hilfe einer Regelung bekämpft werden sollen. Direkte Landnutzungsänderungen durch Biokraftstoffe werden bereits durch die Richtlinie Erneuerbare Energien (2009/28) erfasst.

Die vorliegende Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Land Use Change (LUC) – die Umwandlung von Naturwald, Weideland oder Brachland in Ackerland – in einigen Regionen der Welt nach wie vor ein großes Problem darstellt, nicht nur für den Klimaschutz. Landnutzungsänderungseffekte können direkt (dLUC) oder indirekt (iLUC) erfolgen. War die ursprüngliche Landnutzung reich an Kohlenstoff in der Vegetation oder im Boden (beispielsweise Wald) und ist die Folgenutzung eher arm an Kohlenstoff (Weiden oder Acker), führt LUC zur erhöhten Freisetzung von Kohlendioxid und damit zu negativen Klimaeffekten.

Die Analyse der bisher entwickelten Ansätze zeigt, dass Modelle, die iLUC als globalen Effekt ermitteln und globale Faktoren, adder etc. zur iLUC-Bekämpfung festlegen wollen, nicht ausreichend belastbar sind und beträchtliche Ergebnisunterschiede aufweisen. Damit sprechen zunächst einmal rein wissenschaftliche Gründe dagegen, LUC bzw. iLUC über einen globalen Ansatz ermitteln und in der Folge dann regulieren zu wollen. Im Gegensatz dazu schlägt die Studie einen regionalen Ansatz zur Berechnung von iLUC vor. Ziel ist es, die durch iLUC verursachten Treibhausgasemissionen (THG) von Biokraftstoffen in einer spezifischen Region zu ermitteln. Ein regionaler Ansatz kann auf den in der jeweiligen Region gegebenen Verhältnissen und ihren in Landesstatistiken enthaltenen Zahlen aufbauen. Damit ist die Belastbarkeit der Ergebnisse höher. Zudem zeigt sich, dass LUC im Wesentlichen örtlich bzw. regional verursacht wird. Bei der Betrachtung des iLUC-Problems darf vor allem der große Einfluss des regionalen Handels im Verhältnis zum Einfluss des internationalen Handels nicht vernachlässigt werden. Mit einer regionalen Berechnung wäre es dennoch möglich, über die Summe regionaler Bilanzen die Emissionen aus LUC hervorgerufen durch Biokraftstoffe global vollständig zu erfassen.

Für die Berechnung werden zunächst die in der Region durch die gesamten regionalen Landnutzungsänderungen hervorgerufenen Emissionen ermittelt. Zur Ermittlung des Anteils eines Biokraftstofftyps an der regionalen Gesamtemission wird angenommen, dass LUC von allen landwirtschaftlichen Sektoren gleichermaßen verursacht wird und ein Anstieg der gesamten regionalen Agrarproduktion direkt und linear mit LUC korreliert. Wenn nun die

THG-Emissionen durch LUC eines spezifischen Biokraftstofftyps in einer Region bekannt sind, kann mit Hilfe des in der EE-Richtlinie erfassten dLUC die durch iLUC hervorgerufenen THG-Emissionen eines Biokraftstofftyps in der betrachteten Region ermittelt werden. Im Ergebnis stehen verschiedene Optionen zur Allokation der iLUC-Emissionen zur Verfügung. Eine Option ist, den regionalen iLUC-Effekt eines Biokraftstofftyps der Verursacherebene zuzuordnen, d. h. auf die einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe in der Region zu verteilen. Eine andere Möglichkeit ist, die Allokation der iLUC-Emissionen auf der regionalen Ebene zu belassen. Hier kann nun entweder allen Biokraftstoffprodukten der gesamten Region ein einheitlicher regionaler iLUC-Effekt zugeschrieben oder die regionalen iLUC-Emissionen können nach Biokraftstofftyp differenziert dargestellt werden.

Die Beispielrechnungen im vorliegenden Modell differenzieren den iLUC-Effekt nach Biokraftstofftypen in verschiedenen Regionen und zeigen sensible und verlässliche Ergebnisse, die selbst kleine iLUC-Effekte erfassen. Ein Schwachpunkt des regionalen Berechnungsmodells ist vor allem dessen eingeschränkte Möglichkeit, grenzüberschreitende Produktionsketten und iLUC-Effekte zwischen Ländern zu erfassen. Dennoch eignet sich das regionale Modell im Grundsatz dazu, die regionalen iLUC-Effekte zu erfassen und einen „regionalen iLUC-Faktor" zu ermitteln.

Die Analyse der politischen Handlungsoptionen zur Bekämpfung von iLUC zeigt, dass durch einen regionalen Ansatz eine bessere Lenkungswirkung erreicht wird. Eine sinnvolle Lenkungswirkung kann nur von Regelungen ausgehen, die regional, also auf der Ebene der Nationalstaaten, ausgerichtet sind. Es muss in jedem Fall erreicht werden, dass Länder (Gesellschaft und Regierung), die LUC nachhaltig und nachweisbar erfolgreich bekämpfen, auch belohnt werden (vice versa). Grundsätzlich kann das iLUC-Problem allerdings nur dann an der Wurzel gelöst werden, wenn die für Biokraftstoffe in Europa bereits vorhandenen Regelungen zur Bekämpfung von dLUC auch auf die anderen Agrarsektoren weltweit ausgeweitet und globale Landnutzungsänderungen insgesamt vermieden werden.

Als Übergangsregelung kann mit bi- oder multilateralen Verträgen zwischen der EU und wichtigen Agrarländern im Bereich der Biokraftstoffe ein Anfang gesetzt werden. Konkret wird empfohlen, die EE-Richtlinie um eine Option zu ergänzen: Die EU-Kommission sollte in die Lage versetzt werden, bei definierten politischen Randbedingungen gegenüber einem Nationalstaat einen regionalen iLUC-Faktor ermitteln und festsetzen zu können. Zu diesen Randbedingungen zählen insbesondere eine dokumentierte und nachhaltige Weigerung eines Landes, sich mit der EU auf eine bilaterale vertragliche Problemlösung von LUC bzw. iLUC zu verständigen. **Insgesamt wird also ein Handlungsmix aus einer mittel- bis langfristig anzustrebenden internationalen Problemlösung an der Wurzel und kurzfristigeren Übergangslösungen über unterschiedliche „bilaterale Verträge", unterstützt durch ein regionales iLUC-Modell, empfohlen.**

2 Veranlassung

Der Klimawandel stellt die derzeit größte Bedrohung für den Planeten Erde dar. Um dessen Auswirkungen zu begrenzen und das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen, werden die Industriestaaten bis 2050 eine 80 bis 85 prozentige Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen bezogen auf 1990 erreichen müssen. Der Verkehrssektor trägt zu über 20 Prozent zu den Treibhausgasemissionen in Europa bei. Um die verkehrsinduzierten Emissionen zu verringern und auch, um die Energieversorgung für die Zukunft sicherzustellen, setzt die Europäische Gemeinschaft u.a. auf den Ersatz fossiler durch nicht-fossile Kraftstoffe (Biokraftstoffe). In der EU-Strategie für Biokraftstoffe 2006 wird aber auch betont, dass die Nachhaltigkeit der Produktion der Biokraftstoffe sichergestellt werden muss [1]. In der weiteren Diskussion über die anzulegenden Nachhaltigkeitskriterien wurde von verschiedenen Experten die Einbeziehung von Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen (iLUC[1]) gefordert [u. a. vom WBGU 2008 [2]]. Denn diese können ein erhebliches Ausmaß annehmen und die Produkt-Ökobilanz oder den Product Carbon Footprint (PCF) von Bioenergie massiv beeinflussen.

In den USA wurden mit dem Energy Independence and Security Act (EISA) von 2007 erstmals für Biokraftstoffe verbindliche Treibhausgas-Reduktionsziele über den gesamten Lebenszyklus festgelegt (mindestens minus 50 Prozent), wobei die Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen (iLUC) einzubeziehen waren [3].

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union haben Ende April 2009 die Richtlinie (2009/28/EG) zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen verabschiedet [4]. Darin haben sie der EU-Kommission folgenden Arbeitsauftrag erteilt:

> „Die Kommission sollte eine konkrete Methodologie entwickeln, um die Treibhausgasemissionen durch indirekte Landnutzungsänderungen zu begrenzen. Dabei sollte die Kommission auf der Grundlage der besten verfügbaren wissenschaftlichen Ergebnisse insbesondere die Aufnahme eines Faktors für indirekte Landnutzungsänderungen in der Berechnung der Treibhausgasemissionen bewerten sowie die Notwendigkeit, Anreize für nachhaltige Biokraftstoffe, die die Auswirkungen der Landnutzungsänderungen begrenzen, zu geben und die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen im Hinblick auf indirekte Landnutzungsänderungen zu verbessern. Bei der Entwicklung dieser Methodologie sollte die Kommission unter anderem auf die Frage der potenziellen indirekten Landnutzungsänderungen eingehen, die auf Biokraftstoffe zurückzuführen sind, die aus zellulosehaltigem Non-Food-Material und lignozellulosehaltigem Material erzeugt werden."

[1] Im Folgenden wird unterschieden: LUC = Land Use Change, dLUC = direct LUC (z.B. Landwirt A wandelt eine Wiese in Acker um für die Produktion von Biokraftstoffen), iLUC = indirect LUC (die Umwandlung verläuft über mindestens zwei Stufen zwischen mehreren Landwirten und auch ggf. zwischen unterschiedlichen Agrarprodukten). $\sum$ iLUC + $\sum$ dLUC = $\sum$ LUC

Weiter heißt es in der EE-Richtlinie [4]:

> „Die Kommission legt dem Europäischen Parlament und dem Rat bis zum 31. Dezember 2010 einen Bericht vor, in dem sie die Auswirkungen indirekter Landnutzungsänderungen auf die Treibhausgasemissionen prüft und Möglichkeiten untersucht, wie diese Auswirkungen verringert werden können. Diesem Bericht ist gegebenenfalls ein Vorschlag beigefügt, der auf den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen beruht und eine konkrete Methodologie zur Berücksichtigung der Emissionen aus Kohlenstoffbestandsänderungen infolge indirekter Landnutzungsänderungen enthält, die die Einhaltung dieser Richtlinie, insbesondere von Artikel 17 Absatz 2, sicherstellt."

Am Ende soll die EU-Kommission also, sofern umsetzbar, einen Regelungsvorschlag unterbreiten, wie „Indirect Land Use Change" (iLUC) bzw. „Land Use Change" (LUC) bei der Nettoberechnung der CO_2-Einsparungen durch die Verwendung von Biokraftstoffen gegenüber fossilen Kraftstoffen zu erfassen und einzurechnen ist.

Im August 2010 hat die EU-Kommission eine Anhörung zum Thema „indirekte Landnutzungsänderungen" begonnen. Die Konsultation bezieht sich auf die zu diesem Thema von den Generaldirektionen Energie [5], Klima [6], Landwirtschaft [7] und Handel [8] beauftragten Studien und formuliert als Kernfragen, wie weit die durchgeführten Arbeiten die Erkenntnisse so verdichten, dass eine regulatorische Integration des iLUC-Themas in die Biokraftstoffgesetzgebung möglich erscheint. Weiter fragt die Kommission, welche regulatorischen Vorstellungen als zielführend angesehen werden.

Zur Vertiefung der angesprochenen Problematik haben der Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDB^{e}), Berlin, und die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP), Berlin, die BZL Kommunikation und Projektsteuerung mit der Bewertung der **Handlungsoptionen zur Erfassung von Indirect Land Use Change (iLUC)** im Rahmen der EU-Richtlinie zu Erneuerbaren Energien beauftragt.

3 Fachliche Ausgangslage

Bei Landnutzungs**änderungen (LUC)**, also einer geänderten land- oder forstwirtschaftlichen Nutzung von Flächen oder einer sonstigen Nutzung wie Straßenbau oder gewerblicher Nutzung, kommt es zu erhöhten Treibhausgasemissionen, wenn sich die in der Vegetation und im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge verringert. LUC führt vor allem dann zu einer Reduktion des Kohlenstoffgehalts im Boden (Humusabbau), wenn die Landnutzungsänderung durch eine Änderung der Vegetation (Weiden oder Ackerbau statt (Ur-)Wald als Klimaxstadium) zu einer Kohlenstoffreduzierung in der ober- und schließlich unterirdischen Biomasse (Humusabbau) führt. Dieser Prozess führt zu einer Änderung des CO_2-Gleichgewichtes auf dieser Fläche, folglich zur Freisetzung von Kohlendioxid und damit zu negativen Klimaeffekten. Die Einstellung des durch die Änderung der Bewirtschaftung

bewirkten Abbaus der Biomasse auf das neue CO_2-Gleichgewicht dauert in der Regel mehrere Jahre. Dieser Prozess ist auf degradierten Böden allerdings auch umkehrbar, beispielsweise durch eine Optimeriung von Fruchtfolgesystemen mit Leguminosenabau und bedarfsgerechter Düngung.

Bei den Landnutzungsänderungen unterscheidet man

- direkte Landnutzungsänderungen – direct land use change (dLUC) und
- indirekte Landnutzungsänderungen – indirect land use change (iLUC).

Indirekte Landnutzungsänderungen können etwa entstehen, wenn Energiepflanzen auf einer Fläche angebaut werden, die vorher dem Anbau von Nahrungsmitteln, Futtermitteln oder Fasern diente. In diesem Fall können andernorts beispielsweise Flächen in Ackerland umgewandelt werden, um die „verdrängte" vorherige Produktion zu ersetzen (Beispiele: durch Rodung von Urwald, Umnutzung von Grasland). Da also die Landnutzungsänderung von kohlenstoffreicheren Flächen in Ackerland nicht direkt, sondern indirekt über eine oder mehrere Stufe(n) bewirkt wird, spricht man daher von **indirekter** Landnutzungsänderung, kurz iLUC.

Die internationale Debatte über die Sinnhaftigkeit des Anbaus von Energiepflanzen wird gegenwärtig erheblich von der Diskussion über indirekte Landnutzungsänderungen bestimmt. Auf der einen Seite gibt es den Ansatz, lediglich *direkte* Landnutzungsänderungen (dLUC) einzubeziehen, *indirekte* Landnutzungsänderungen (iLUC) aber wegen methodischer Probleme und der ungenügenden Datenlage derzeit nicht zu berücksichtigen, wie es etwa in der PAS 2050: 2008 [9] vorgesehen ist[2]. Dem stehen die Aufträge an die EPA durch den Energy Independence and Security Act (EISA) 2007 [3] oder an die EU-Kommission durch die Richtlinie 2009/28/EG [4] gegenüber, die eine Berücksichtigung von iLUC verlangen. Die US-amerikanische Umweltbehörde EPA hat zwischenzeitlich bereits entsprechende Modelle angewandt [10].

[2] Eine PAS (**P**ublicly **A**vailable **S**pecification) ist keine Norm, sondern lediglich eine Übereinkunft unter den Verfassern, die auch nicht den gesellschaftlichen Konsens sicherstellt – wie es eine Norm aber erfordert.

4 Die iLUC-Hypothese - Analyse bisheriger Modelle zur Erfassung und Quantifizierung von iLUC

Die iLUC-Hypothese lautet zugespitzt:

Eine Steigerung des Biokraftstoffeinsatzes führt indirekt zu Landnutzungsänderungen und damit zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Die Biokraftstoffnutzung stellt daher keinen sinnvollen Beitrag zum Klimaschutz dar.

Die iLUC-Hypothese wurde in den letzten Jahren durch eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen aufgestellt. Die iLUC-Hypothese setzt sich bei näherer Betrachtung aus drei Einzelthesen zusammen:

- These 1: Biokraftstoffe führen indirekt zu Landnutzungsänderungen.
- These 2: Landnutzungsänderungen führen zu verstärkten Emissionen an Treibhausgasen.
- These 3: Biokraftstoffe stellen keinen sinnvollen Beitrag zum Klimaschutz dar.

Der wissenschaftliche Erkenntnisstand zu diesen drei Bestandteilen der iLUC-Hypothese wird im Folgenden näher betrachtet. Eine getrennte Betrachtung der Einzelteile der iLUC-Hypothese ist deshalb erforderlich, weil deren Fakten- und Erkenntnislage unterschiedlich ist.

In den letzen drei bis vier Jahren wurden in den USA und in Europa von einer ganzen Reihe von Arbeitsgruppen hauptsächlich an Universitäten und Fachinstitutionen Anstrengungen unternommen, iLUC zu erfassen und zu quantifizieren. Hierbei lag der Schwerpunkt der Arbeiten darauf, die Zusammenhänge um These 1 besser zu verstehen.

4.1 These 1: Biokraftstoffe führen indirekt zu Landnutzungsänderungen

Unstrittig ist, dass aufgrund des Anbaus von Bioenergiepflanzen Verdrängungsreaktionen zwischen den unterschiedlichen Agrarsektoren stattfinden bzw. stattfinden können. Dies wird auch in einzelnen Regionen ganz konkret berichtet bzw. zweifelsfrei beobachtet oder ist über Kartenmaterial darstellbar [11], wobei die Zuordnung zu den unterschiedlichen Agrarsektoren schwierig ist.

Direkte Landnutzungsänderungen (dLUC) wie etwa die Umwandlung von Grasland in Ackerland zur Produktion von Rohstoffen für Biokraftstoffe werden über die vorhandenen Zertifizierungssysteme nach EE-Richtlinie [4] erfasst und schlagen sich in den Treibhausgasbilanzen des auf der jeweiligen Fläche gewonnenen Biokraftstoffs nieder.

Schwieriger ist die Erfassung der indirekten Wirkungen. Um den iLUC-Effekt durch Biokraftstoffe zu erfassen, werden unterschiedliche methodische Wege gegangen. Das IFEU-Gutachten [12] im Auftrag des BDB[e] beschreibt die international in der Diskussion befindlichen

Methoden und führt eine Schwachstellenanalyse durch. Auf internationaler Ebene werden im Wesentlichen zwei verschiedene Ansätze zur iLUC-Berechnung eingesetzt:

- Komplexe ökonometrische Modelle [10, 13, 14, 15]
- Vereinfachte deterministische[3] Ansätze [16].

Alle Modelle versuchen, den iLUC-Effekt auf globaler Ebene zu erfassen und zu quantifizieren.

4.1.1 Ökonometrische Modelle

2008 wurde die erste Studie über die globalen indirekten Landnutzungseffekte der US-amerikanischen Ethanolproduktion von Searchinger et al. veröffentlicht [13]. Die Autoren setzten für ihre Berechnungen ein ökonometrisches Agrarmodell ein. Mithilfe derartiger Agrarmodelle können bei Veränderungen des Bedarfs an Agrarrohstoffen Auswirkungen auf den Preis und auch auf die benötigte Agrarfläche berechnet werden. Searchinger et al. [13] kamen zum Ergebnis, dass die iLUC-Effekte der auf Mais basierten Ethanolproduktion in den USA zu insgesamt höheren Treibhausgasemissionen führen als Einsparungen gegenüber fossilen Kraftstoffen erreicht werden[4].

In der Folge wurden weitere Berechnungen mit unterschiedlichen ökonometrischen Modellen durchgeführt und veröffentlicht. Zu diesen Berechnungsmodellen gehören beispielsweise GTAP (Global Trade Analysis Project) der Purdue Universität, IMPACT des IFPRI (International Food Policy Research Institute) oder CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis) der Universität Bonn. Alle Studien zeigten im Ergebnis einen iLUC-Effekt, der eintritt, wenn die Biokraftstoffproduktion gesteigert wird.

In den letzten beiden Jahren wurde Kritik an diesen Ergebnissen geäußert. U.a. wurden bei Anwendung **unterschiedlicher Modelle** auf die **gleiche Fragestellung** große Ergebnisunterschiede beobachtet. So schwanken die iLUC-Effekte für vergleichbare Biokraftstoffe zwischen 30 und 103g CO_{2eq}/MJ [17]. Bezieht man mit ein, dass **fossiler** Kraftstoff nach EE-Richtlinie (Anhang V Abschnitt C Nr. 19) eine Treibhausgasemission von 83,8g CO_{2eq}/MJ aufweist, wird die Problematik dieser Schwankungsbreite deutlich.

---

[3] lat. determinare „bestimmen". Es werden wichtige Berechnungsgrößen „bestimmt" im Sinne von festgelegt.

[4] Abstract: *Most prior studies have found that substituting biofuels for gasoline will reduce greenhouse gases because biofuels sequester carbon through the growth of the feedstock. These analyses have failed to count the carbon emissions that occur as farmers worldwide respond to higher prices and convert forest and grassland to new cropland to replace the grain (or cropland) diverted to biofuels. By using a worldwide agricultural model to estimate emissions from land use change, we found that corn-based ethanol, instead of producing a 20% savings, nearly doubles greenhouse emissions over 30 years and increases greenhouse gases for 167 years. Biofuels from switchgrass, if grown on U.S. corn lands, increase emissions by 50%. This result raises concerns about large biofuel mandates and highlights the value of using waste products.* [13]

In den USA wurde seitens der EPA versucht, dieses Dilemma insoweit zu lösen, als dass man für regulatorische Zwecke aus den unterschiedlichen Modellen jenes Modell auswählen wollte, was nach Auffassung der führenden Experten die realen Verhältnisse am besten abbildete. Den Modellexperten wurde hierfür im Rahmen einer Anhörung die Frage nach dem besten Modell gestellt. Ihre Antworten lauteten zusammengefasst:

- Kein Modell kann für sich die „richtige" Antwort geben, da jedes der Modelle spezifische Stärken und Schwächen hat. Dies führt dazu, dass bei Anwendung der Modelle unterschiedliche Ergebnisse erhalten werden.
- Die Komplexität der Modelle ist bereits zu hoch, um eine Nachvollziehbarkeit zu ermöglichen.
- Die Komplexität der Modelle ist noch nicht ausreichend, um alle abhängigen Faktoren genügend einzubeziehen [18].

Abbildung 1 zeigt Ergebnisse einer weiteren Studie, die unterschiedliche ökonometrische Modelle miteinander vergleicht [19]. Eingesetzt wurden die Modelle GTAP (Global Trade Analysis Project) und FAPRI (Food and Agriculture Policy and Research Institute). Berechnet wurde der iLUC-Effekt, der durch die zusätzliche Produktion von 2,6 Milliarden Gallonen Maisethanol eintritt. Die Streubreite der Ergebnisse ist erheblich.

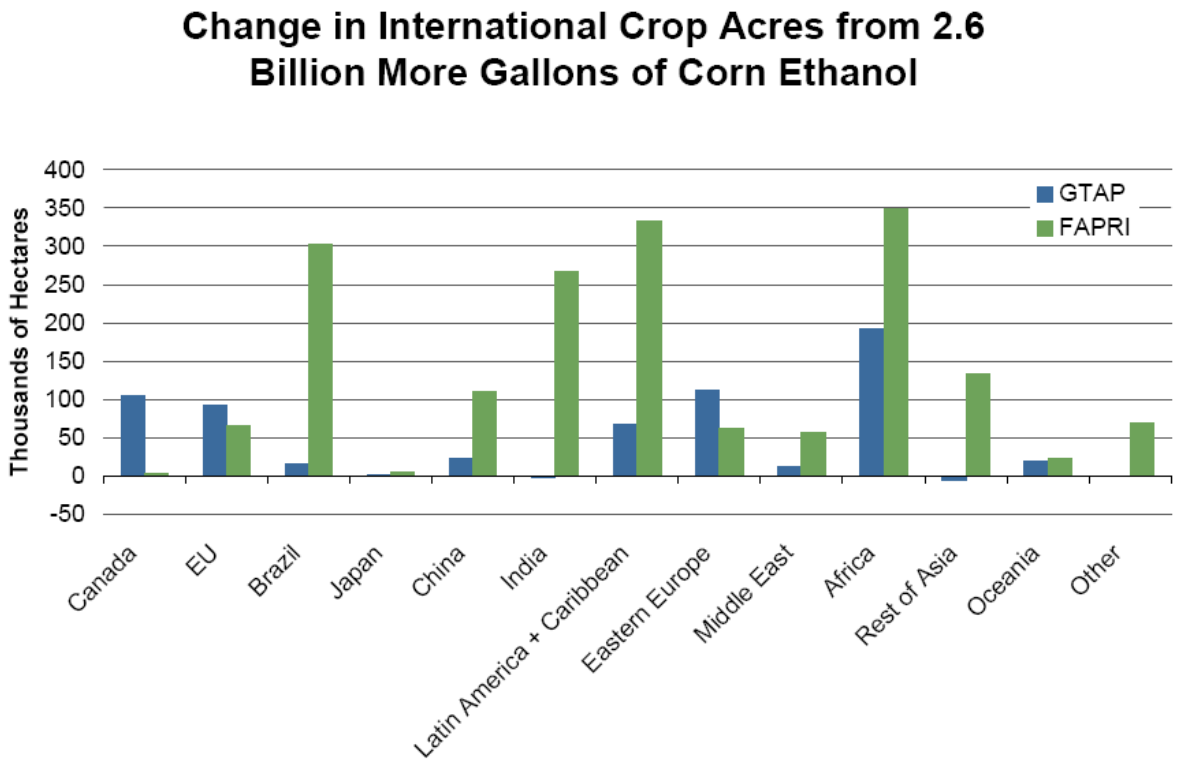

Abbildung 1: iLUC-Effekte: Vergleich der Ergebnisse des GTAP und des FAPRI-Modells [19]

Eine Studie im Auftrag verschiedener europäischer NGOs zu iLUC und Klimaeffekten von Biokraftstoffen („Biofuels: Indirect land use change and climate impact") bestätigte ebenfalls die große Streubreite der Ergebnisse für unterschiedliche Modelle bzw. Ansätze [20]. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, lag die Streubreite der Modelle für die Ermittlung von iLUC hier nach Ausschluss von Extrem-Modellen (Corbey, WBGU, Ensus), bei bis zu rund 50g CO_{2eq} pro MJ Biokraftstoff, was sich gut mit Ergebnissen anderer Studien (etwa [17], s.o.) deckt.

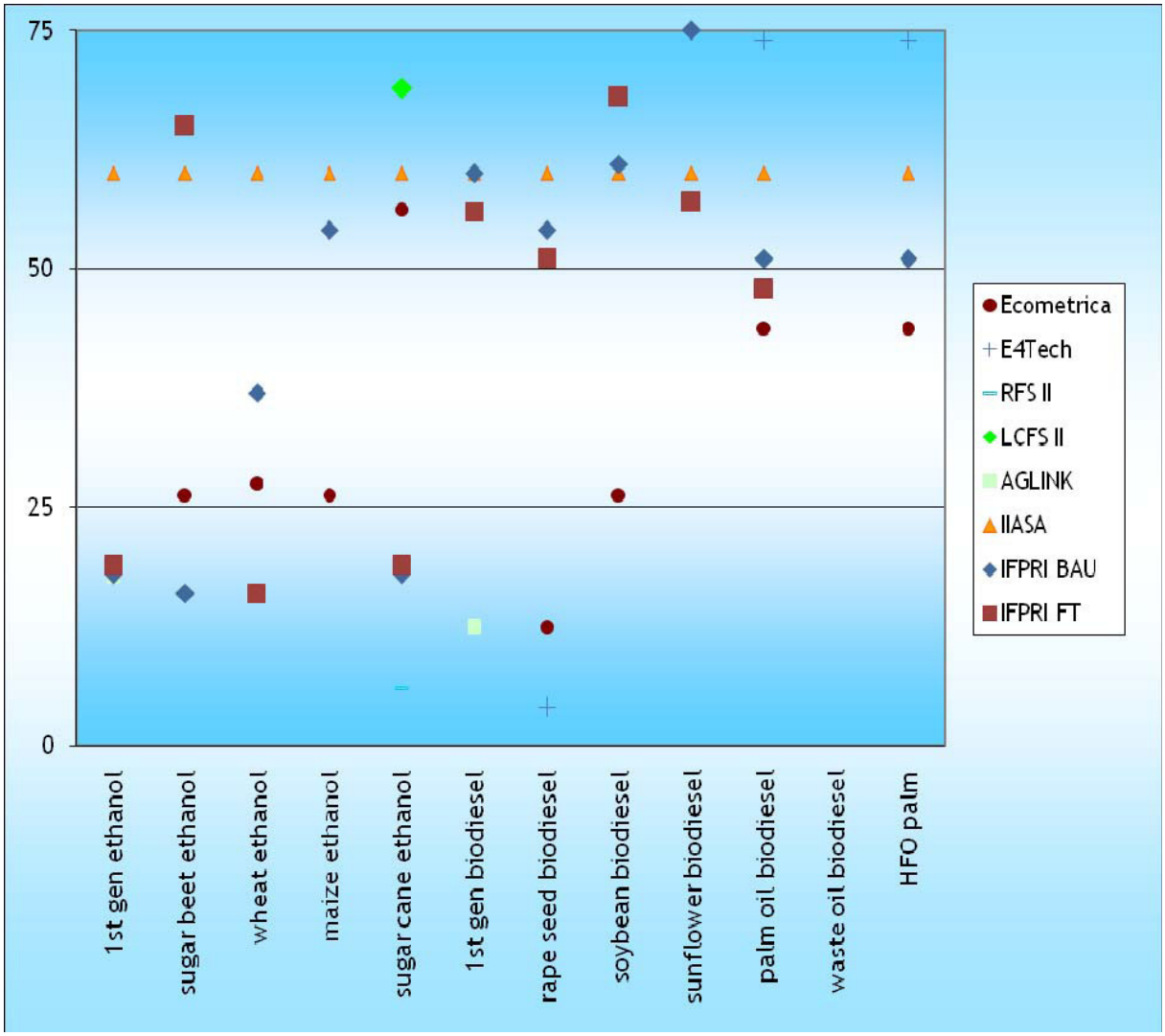

Abbildung 2: iLUC-Faktoren für Biokraftstoffe nach verschiedenen Studien [g CO_{2eq}/MJ] [20]

Ein aktueller Vergleich von sechs neueren Studien (vier allein aus 2010) zum iLUC-Faktor nur von Bioethanol aus US-amerikanischem Mais ergab sogar einen Streubereich von 14 bis 104 bei einem Range von 14 bis 200g CO_{2eq}/MJ (für einen 30-Jahre-Zeitraum), vgl. Tabelle 1 [21]. Bezogen auf einen 20-Jahre-Horizont müssten die Werte noch um 50 Prozent erhöht werden.

Tabelle 1: Published estimates of ILUC emissions induced by expansion of corn ethanol in the US and EU.

All studies are reported with ILUC emissions amortized over 30 years of production for comparison. To normalize any value to 20 years of production, add 50Prozent. (Based on Plevin, O'Hare et al., in review) [21]

Study	Target year	Shock size (10^6 m³)	ILUC factor (g CO_{2eq}/MJ)	Range (g CO_{2eq}/MJ)
Searchinger et al. (2008)	2016	56	104	20–200a
Hertel et al.(2010)	2001b	50	27	15–90c
Dumortier et al.(2009)	2018/19	30	n/a	21–118d
USEPA (2010)	2012	7.5	81	62–104e
	2017	14	58	43–76e
	2022	10	34	25–45e
Al Riffai et al. (2010)	2020f	0.47	36	36–53g
Tyner et al.(2010)	2015	7.6	14	14–18h

a Calculated from reported sensitivity results.
b Based on the GTAP-6 2001 database, adjusted for 10Prozent greater corn yield in 2010.
c Based on a combination of high and low values for various economic model parameters.
d Based on evaluating alternative model assumptions.
e 95Prozent CI around mean considering only the uncertainty in satellite data analysis and carbon accounting.
f Based on the GTAP-7 2004 database, using the model to project out to 2020.
g Effect of additional 10^6 GJ after meeting 5.6Prozent mandate. Higher value is for greater trade liberalization.
h Based on 2006 data constructed from 2001 GTAP database. Low value includes yield and population growth.

Im Rahmen der von der EU-Kommission veranlassten eingangs erwähnten vier Untersuchungen wurden ebenfalls die vorhandenen Agrarmodelle eingesetzt, um zu ermitteln**, ob durch die beschlossenen Biokraftstoffziele der EU iLUC-Effekte eintreten**, und wenn ja, in welcher Höhe. Zusätzlich stellte sich die Frage, ob die Modelle hinreichend robust sind, um mit ihrer Hilfe die vorhandene Biokraftstoffregulierung in der EU um den iLUC-Aspekt zu ergänzen.

In der EU-Studie für die Generaldirektion Landwirtschaft [7] wurden drei Modelle – AGLINK-Cosimo, ESIM und CAPRI – für Berechnungen herangezogen. Diese sogenannten partiellen agrarökonomischen Gleichgewichtsmodelle sind, so die Autoren der Studie, robuste, wissenschaftlich anerkannte Werkzeuge zur Simulation von politischen Veränderungen innerhalb des Agrarsektors. Sie können verwendet werden, um Auswirkungen der Politik unter anderem auf Angebot und Nachfrage, Handelsströme, Binnen- und Weltmärkte zu identifizieren. Sofern indirekte Landnutzungsänderungen in Drittländern durch Preissignale[5] über den Markt ausgelöst werden, können diese, so die Autoren der Studie, ebenfalls erfasst werden.

[5] Vgl. weiter unten die regionalen Einschränkungen für über Preissignale induzierte Landnutzungsänderungen.

Tabelle 2: iLUC-Effekte berechnet mittels dreier Modelle [7]

	AGLINK	ESIM	CAPRI
EU			
Production Fuels			
Ethanol	↑↑	↑↑↑↑	↑↑(by assumption)
Biodiesel	↑↑↑	↑	↑↑(by assumption)
Production Feedstocks			
Wheat	↑	↑	↑
Coarse grains/maize	↑(< 1 m t)	↑	↑ (small)
Oilseeds	↑	↑	↑↑
Production livestock products	negligible	↑ (small, pork and poultry only)	cattle numbers slightly ↓
Net trade Fuels			
Ethanol	imports ↑↑↑	imports ↑	
Biodiesel	imports ↑↑↑	exports ↓	
Net trade Feedstocks			
Wheat	exports ↓	exports ↓	imports ↑
Coarse grains/maize	from exporter to small importer	imports ↑	imports ↑
Oilseeds	imports ↓	imports ↑ (small)	imports ↓
Vegetable oils	imports ↑↑	imports ↑	imports ↑↑
Land use: EU	+ 1.44 mn ha (arable) - 1.13 mn ha (pasture)	+ 0.700 mn ha (agricultural area)	arable ↑ fallow ↓ [1] pasture ↓
World Market			
Prices Fuels			
Ethanol	↑ (small)	↑	
Biodiesel	↑↑	↑↑	
Prices Feedstocks			
Ethanol feedstocks	ca. zero	↑ (wheat),↑↑ (maize)	↑ (cereals)
Biodiesel feedstocks	ca. zero (oilseeds) ↑ (oils)	↑ ↑ ↑ (oils)	↑ (oilseeds) ↑ (oils)
Global land use (cereals, oilseeds, sugar)	+ 5.2 mn ha (+ 0.7%)		

1. Total agricultural area fixed by assumption

Tabelle 2 zeigt, dass die Modelle ebenfalls deutliche Ergebnisunterschiede aufweisen. Dies wird in der Studie umfassend erklärt und ist in den Stärken und Schwächen der jeweiligen Modelle begründet. Fazit ist dennoch, dass mit *keinem* der eingesetzten Modelle eine befriedigende Vorhersage über die möglichen iLUC-Effekte der EU-Biokraftstoffpolitik für 2020 erreicht werden kann.

In der EU-Studie im Auftrag der Generaldirektion Klima [6] wurden die sechs bekanntesten Agrarmodelle auf vier exakt beschriebene EU-Szenarien angewendet. Abbildung 3 zeigt eine Auswahl der wichtigsten Ergebnisse.

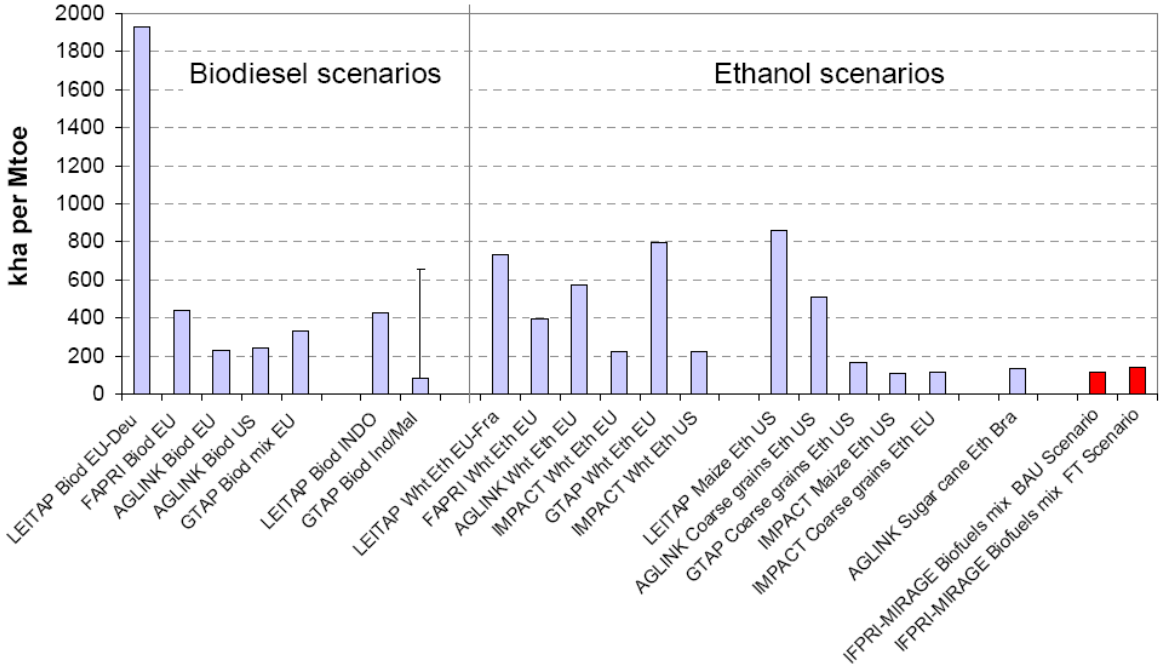

Abbildung 3: iLUC-Effekt ermittelt nach unterschiedlichen Agrarmodellen [6]

In allen Modellen wurde durch Steigerung des Biokraftstoffbedarfs in Europa eine Zunahme von iLUC festgestellt. Allerdings zeigte auch diese Untersuchung, dass die Ergebnisse hohen Schwankungen unterliegen.

Nur in einer der vier EU-Studien, nämlich in der von der GD Handel beauftragten Untersuchung [8], wird ein globales allgemeines Gleichgewichtsmodell (CGE) zur Abschätzung der Auswirkungen der EU-Biokraftstoff-Politik verwendet, in diesem Fall eine umfassend modifizierte Version des bestehenden MIRAGE-Modells. Die Modellsimulationen zeigten, dass die Wirkungen der auf Biokraftstoff bezogenen EU-Politik auf die Nahrungsmittelpreise sehr beschränkt ausfallen, mit einer maximalen Preisänderung auf dem Lebensmittelsektor von +0,5Prozent in Brasilien und +0,14Prozent in Europa. Die Analyse der Auswirkungen des Biokraftstoffbedarfs auf iLUC zeigt, dass Ethanol und insbesondere Ethanol aus Zuckerrohr die höchsten Netto-Treibhausgaseinsparungen generiert. Biodiesel aus Palmöl bleibt so effizient wie Rapsöl, auch wenn die Emissionen aus der Umwandlung von Mooren in Indonesien/Malaysia berücksichtigt werden. Das Modell zeigt auch, dass sich die iLUC-Emissionskoeffizienten mit einer weiteren Steigerung der Biokraftstoffquoten in Europa erhöhen können.

In dem im Auftrag der GD Energie erstellten Inhouse-Review [5] werden die wesentlichen Schwachstellen der bisher durchgeführten Modellberechnungen zum Nachweis bzw. zur Prognose von iLUC durch Biokraftstoffe dargestellt. Die Ergebnisse wurden durch eine kritische Auswertung der relevanten wissenschaftlichen Literatur der letzten Jahre erhalten.

Die wesentlichen Ergebnisse:

- Die in die Modelle eingegebenen Basisdaten für das global verfügbare Agrarland variieren stark. Für das Jahr 2000 reichen die Schwankungen von 1,2 bis zu 2,0 Milliarden Hektar. Ein Konsens in der Wissenschaft über die zutreffende Zahl steht aus. Häufig ist die Verwendung von empirischen Daten schwach oder ungenügend [22].
- Wenn die **Ernteerträge je Fläche** aufgrund der erhöhten Nachfrage nach Biokraftstoffen schneller wüchsen, würden weniger Flächen benötigt. Es ist von einem theoretischen Standpunkt aus wahrscheinlich, dass dieser Effekt eintritt (weil Preiserhöhungen gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern den Farmern Geld in die Hand geben und dadurch Investitionen ermöglichen). Allerdings ist diese wahrscheinliche Beziehung empirisch schwierig zu quantifizieren. Frühere Agrarmodelle sind davon ausgegangen, dass der Effekt vernachlässigbar oder gleich Null sei. Neuere Arbeiten beziehen diesen Effekt mit ein, aber in ungenügender Form. Sensitivitätsbetrachtungen zeigen aber, dass dieser Effekt hohe Ergebnisrelevanz haben kann. Mit höheren Annahmen für die Ernteerträge als Reaktion kann der iLUC-Effekt um 27 bis 80 Prozent gemindert werden.
- In der EU schrumpft die Anbaufläche seit Jahren. Ein gesteigerter Biokraftstoffbedarf würde diesen Trend brechen. Dieser Effekt wurde in den bisherigen Studien nicht einbezogen.
- Die Gewinnung von Biokraftstoffen ist in der Regel mit dem Anfall von Co-Produkten verbunden, die beispielsweise in die Tierfütterung gehen und damit Flächen für den Anbau von Futtermitteln ersetzen. Studien deuten darauf hin, dass dieser positive iLUC-Effekt durch die Futtermittelproduktion zwischen 8 und 64 Prozent (Median 36 Prozent) für die Biokraftstoffpolitik als Ganzes und von 35 bis 94 Prozent für einzelne Kulturen wie Mais, Zuckerrüben, Weizen und Raps betragen kann. In den ausgewerteten Studien wurden sehr unterschiedliche Zahlenwerte für die Co-Produkte und divergierende Substitutionseffekte unterstellt. Dies hat große Auswirkungen auf die jeweiligen Ergebnisse.
- In den untersuchten Studien wurde in keinem Fall die verabschiedete EU-Gesetzgebung und ihre Auswirkung auf die Landnutzung erfasst. Weiter wurde für die Prognoseberechnungen in keinem Fall eine Landnutzungspolitik unterstellt, die beispielsweise dem Naturschutz eine höhere Geltung verschafft.
- Ist die Ausweitung der Agrarflächen durch einen höheren Bedarf an Agrarprodukten in einem linearen Modell mathematisch gesehen einfach zu modellieren, treten bei der Frage, zu Lasten welcher Flächen diese Expansion geht, große Divergenzen auf. Es ist kaum zu prognostizieren, in welchem Verhältnis die Expansion von Ackerflächen beispielsweise zu Lasten von Wald oder Grünland gehen wird.
- In den meisten Modellen werden die Landnutzungsänderungen zu Lasten von Feuchtgebieten bzw. Torfflächen nicht erfasst. Dies führt zu Unterschätzungen der iLUC-Effekte.
- In den allermeisten Studien werden sogenannte multikausale LUC- bzw. iLUC-Effekte nicht erfasst. Insbesondere ist dieser Effekt in tropischen Regenwäldern von Bedeutung,

wo das „illegal logging" eine mitverursachende oder vielleicht sogar wesentliche Triebkraft für Landnutzungsänderungen hat.

- In einigen Studien werden die unterschiedlichen Biokraftstofftypen (Ethanol, Sojaöl-Diesel, Palmöl-Diesel etc.) nicht differenziert betrachtet. Dies führt zu sehr pauschalen Aussagen. Andere Studien zeigen, dass die Ergebnisse für die verschiedenen Biokraftstofftypen sehr unterschiedlich ausfallen. Weiter wird in der Regel in den Modellberechnungen nicht zwischen den iLUC-Effekten je nach Region bzw. Land differenziert. Nur in einer Untersuchung wird ermittelt, welche iLUC-Ergebnisse in Abhängigkeit von Biokraftstofftyp und Anbaugebiet erhalten werden. Es zeigt sich, dass der regionale Effekt sehr stark ausgeprägt ist (vgl. auch Kap. 5).

Insgesamt fiel den Autoren auf, dass die Ergebnisse für die geschätzten Auswirkungen der Landnutzungsänderungen hervorgerufen durch Biokraftstoffe sich im Laufe der Zeit verringert haben, vermutlich aufgrund der methodischen Verfeinerung der Berechnungsmodelle. Während die ursprüngliche Arbeit von Searchinger et al. [13] noch ergab, dass die Treibhausgasauswirkungen von Biokraftstoffen aufgrund von iLUC doppelt so groß ausfielen wie die Emissionen durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe, zeigten drei der vier jüngsten Studien für Biokraftstoffe auch bei Einbeziehung der iLUC-Effekte Netto-Treibhausgaseinsparungen gegenüber fossilen Kraftstoffen, so die Autoren des im Auftrag der GD Energie erstellten Inhouse-Reviews [5].

4.1.2 Deterministische Modelle

Bei deterministischen Modellen werden die wichtigen globalen Berechnungsgrößen „bestimmt", es werden also keine Ergebnisse über mathematische Modelle berechnet, sondern Festlegungen getroffen, die die Wirklichkeit bestmöglich abbilden sollen. Die Modelle kommen mit einfachen Annahmen aus und werden über wenige Rechenbezüge zu Ergebnissen geführt. Daher sind natürlich viel transparenter als die hoch komplexen ökonometrischen Modelle.

Gegenwärtig läuft eine Studie für das UK Department for Transport, um ein solches Modell zu entwickeln [23]. Ein weiteres deterministisches Modell wurde im Auftrag des deutschen Umweltministeriums entwickelt. In seiner ersten Fassung von 2008 wurde mit diesem Modell ein sogenannter „risk adder" ermittelt, der den Biokraftstoffen als Malus hinzugefügt werden sollte. Zur Ableitung des Modells [16] wird die Eingangsfrage gestellt, welche Art der Landnutzungsänderung im ungünstigsten Fall durch einen Verdrängungsprozess auftreten kann. Da in diesem Modell die Verdrängungseffekte primär global angenommen werden, sind hiernach alle Länder betroffen, die am Welthandel als Exporteure teilnehmen. Das CO_2-Emissionspotenzial aus iLUC wird vereinfacht als Mittelwert der Flächenanteile für Agrarexporte nach Weltregionen und jeweiliger C-Freisetzung durch dortige Landnutzungsänderung bestimmt (siehe Tabelle 3 nach [24]).

Tabelle 3: Herleitung des CO_2-Emissionspotenzials durch iLUC nach Fritsche, zit. in [12] nach Öko-Institut/IFEU 2009 [24]

Region, Kultur vs. Landtyp	Annahme zu C aus dLUC (nach IPCC) [Mg CO_2/ha]	Anbauflächen im „Weltmix" Vereinfachte Anteile	Flächengewichtete anteilige THG-Emission bei LUC [Mg CO_2/ha]
EU, Raps/Weizen vs. Grünland	254	20 %	51
USA, Mais vs. Grünland	254	25 %	64
Brasilien, Zuckerrohr vs. Savanne	491	50 %	246
Indonesien, Palmöl vs. Regenwald	972	5 %	49
Summe (rund)			400
Pro Jahr, bei 20 a [Mg CO_2/(ha*a)]			**20**

Aus diesen Festlegungen folgt ein Emissionspotenzial von 410 Megagramm CO_2 pro Hektar (Mg CO_2/ha), also rund 400Mg CO_2/ha, das bei einer Verteilung auf 20 Jahre entsprechend der EE-Richtlinie einen theoretischen iLUC-Wert von 20Mg CO_2/(ha*a) ergibt.

Da die Nutzung von Brachland oder eine Ertragssteigerung bei der Produktion von Bioenergieträgern nicht immer zu einer indirekten Landnutzungsänderung führen dürfte, legen die Autoren des Modells ein „konservatives Minimum" von 25 Prozent des obigen theoretischen iLUC-Wertes fest, entsprechend 5Mg CO_2/(ha*a).

Diese Emissionen müssen in dieser Version des Modells nun auf die jeweils angebauten Biokraftstoffe herunter gebrochen werden. Hierfür werden die spezifischen Biomasseerträge je Hektar und die Umwandlungsraten von Biomasse zu Biokraftstoff eingesetzt. Die Nebenprodukte werden über die Heizwertmethode entsprechend EE-Richtlinie zugeordnet. Mit diesen Daten werden schließlich „risk adder" für unterschiedliche Biokraftstoffe ermittelt. Tabelle 4 gibt einige Ergebnisse dieser Berechnung wieder [25]. Danach weist Raps aus der EU die höchsten, Diesel aus Palmöl hingegen die niedrigsten iLUC-Werte auf.

In einer weiterentwickelten Form des Modells (2010) wurde eine Umbenennung vorgenommen [26]. Das Ergebnis der Berechnung wird nun nicht mehr als „risk adder", sondern als „iLUC-Faktor" bezeichnet.[6]

[6] Der hier kreierte „iLUC-Faktor" ist kein Faktor im mathmatischen Sinn, sondern als „Zuschlag" zu verstehen, der der Treibhausgasbilanz eines Biokraftstoffes hinzu addiert werden soll.

Tabelle 4: Beispielhafte Ableitung von iLUC-Faktoren nach dem Vorschlag von Fritsche (2007, 2009) unter Einbeziehung von Flächenertragswerten und Allokationswerten nach Fehrenbach et al. (2007) [25]

Region, Kultur	Flächenbedarf m²/GJ Biomasse[a)] (Haupt- und Nebenprodukte)	Allokationsanteil für Biokraftstoff[a)] Hauptprodukt	iLUC-Wert[b)] g CO_2/MJ
EU, Raps	200	60 %	60
EU, Weizen	174	55 %	48
USA, Mais	131	55 %	36
Brasilien, Zuckerrohr	121	88 %	53
Indonesien, Palmöl	79	48 %	15

a) Werte aus nach Fehrenbach et al. (2007) – nicht identisch mit Berechnungsgrundlage von EE-RL Annex V
b) verrechnet mit 5 Mg CO_{2eq}/ha (25 Prozent von 20 Mg CO_{2eq}/ha)

Der prinzipielle Rechengang ist ähnlich geblieben.[7] Verfeinerungen bei den verwendeten Daten führen zu einem modifizierten Ergebnis für den theoretischen iLUC-Wert von 13,5Mg CO_2/(ha*a). Weiter wird auch in diesem verfeinerten Modell der erhaltene iLUC-Wert zu 25 Prozent festgelegt und ergibt über den typischen globalen mittleren Nettoertrag von 100GJ Biokraftstoffen je Hektar einen iLUC-Faktor von **34g CO_2/MJ**.

Im Unterschied zur ersten Version des Modells wird in der neuen Version keine Differenzierung mehr bezüglich der Biokraftstofftypen bzw. -arten (vgl. Tab 4) vorgenommen. Vielmehr soll für alle Biokraftstoffe der gleiche globale iLUC-Faktor verwendet werden.

4.1.3 Analyse und Bewertung der Modelle

Der Nachweis von Höhe bzw. Bedeutung des iLUC-Effektes ist im Grundsatz schwierig zu erbringen, weil der Anteil der Bioenergieproduktion an der globalen Agrarproduktion – wenn man von der Holzproduktion einmal abstrahiert – verschwindend gering ist. Zudem liegt das Volumen der weltweit gehandelten Biokraftstoffe noch einmal um rund eine Größenordnung *unter* dem von Bioenergieprodukten. Insgesamt würde selbst eine massive Steigerung der Bioenergie *im Mittel* keine *signifikanten* Veränderungen am globalen System hervorrufen.

Was mit den Studien gelingt, ist die Anwendung von Rechenmodellen, die Auswirkungen einer auch vergleichsweise kleinen Veränderung der globalen Nachfrage in einzelnen Agrarsektoren Veränderungen im Preis und auch ggf. einen äquivalenten Bedarf zur Vergrößerung

[7] *To translate the iLUC factor to a given biofuel, the land-based values given above (t CO_2/ha/year) need to be divided by the fuel-specific yield ($GJ_{biofuel}$/ha/year), resulting in energy-specific emission factors (g $CO_2/MJ_{biofuel}$).*

der Agrarflächen zuordnen. Wird in einem Modell die Erhöhung einer sektoralen Nachfrage nach einem Agrarprodukt mathematisch mit einem Preisanstieg und dies wiederum mit einer anteiligen linearen inkrementellen Vergrößerung der Agrarfläche verknüpft, dann führt die Anwendung dieses Modells auf die EU-Biokraftstoffstrategie zu einem iLUC-Effekt, wie die Studien zeigen. Ein derartiges Ergebnis ist aber nicht zu verwechseln mit einer Quantifizierung des realen iLUC-Effektes, auch wenn am Ende der Berechnung ein iLUC-Wert steht. Vielmehr ist aus dem Modell das Ergebnis herausgekommen, das der Modellkonstrukteur an mathematischen Beziehungen festgelegt hat. In der Praxis kann aber die erhöhte Nachfrage auch durch eine Nutzung von Brachflächen oder durch eine intensivere Nutzung der vorhandenen Agrarflächen bedient werden. Dies wäre dann im für den Klimaschutz günstigsten Fall eine erhöhte Biokraftstoffproduktion ohne iLUC-Effekt. Weiterentwickelte Modelle versuchen, diese Effekte mit einzubeziehen. Nur zeigt die obige Darstellung der Ergebnisse, dass die Autoren diese Handlungsoptionen für die Akteure in den Agrarsektoren sehr unterschiedlich gewichten.

Warum ist die Quantifizierung so schwierig? Die Schwierigkeit wird verständlich, wenn man das globale iLUC-Phänomen plastisch beschreibt. Hier die Definition aus einer aktuellen Studie des Öko-Instituts [16]:

> *„In that view, cultivating biomass feedstocks can have **indirect** LUC (ILUC) effects through displacing current agricultural (food, feed) or forest (fiber, timber) production to **other** areas - e.g. grasslands or forested land – which causes **dLUC there**. As the displacement could move previous agricultural production to areas outside of a country, could occur with significant time lags, and could be distributed through global trading, ILUC **cannot** be determined with respect to any individual feedstock production activity – it is `non-local´.*
>
> *The non-locality of indirect effects is a result of the non-locality of global commodity markets – unless one assumes a **full** global `tracing and tracking´ for the origin of **all** traded commodities, one **cannot know** whether a production increase of an agricultural commodity such as wheat (and possibly a respective conversion of previously unused land) in a given country is `caused´ by a rise in demand for bread in another country, or by a change in trade relations, or by a rising demand for bioethanol produced from wheat somewhere else. Even if the feedstock into the ethanol plant would be `traced back´ to its source(s), only full global tracing could reveal any implications this feedstock demand has on all other production – and not only for wheat, but also for interrelated feedstocks such as maize (corn) or rye which have a functional equivalent to wheat on the different markets and uses.*"

Man erahnt an dieser Definition, welche Komplexität ein Modell haben müsste, um diesen Effekt abzubilden. Da iLUC in der obigen Definition ein über den internationalen Agrarhandel moderiertes globales Phänomen sein soll, kann es auch nur über globale Modelle erfasst werden. Wie oben dargestellt, ist aber eine überzeugende Quantifizierung bisher nicht gelungen. Die Ergebnisse der Modellberechnungen streuen sehr stark und führen selbst bei der Eingabe von identischen Sachverhalten zu großen Ergebnisunterschieden. Den hierfür gegebenen Erklärungen kann nur zugestimmt werden. Niemand hat hier falsch gerechnet

oder schlechte Modelle entwickelt. Die Struktur der Modelle und die den Modellen zugrunde liegenden Annahmen sind unterschiedlich, und daher gibt es unterschiedliche Ergebnisse.

Kann man denn, laienhaft gefragt, nicht ein „richtiges" oder „bestes" Modell entwickeln und dann für den Biokraftstoffsektor anwenden? Die Wissenschaftler, die die Modelle entwickelt haben, sind sich, wie dargestellt, nicht einig über die Auswahl eines solchen Modells. Der Politik die Modellauswahl zuzuweisen, ist eine fragliche Option. Und schließlich wurden in den letzten Monaten auch Beiträge veröffentlicht, die eine grundsätzliche Skepsis äußern, ob die Quantifizierung *überhaupt* gelingen kann. So stellte einer der ersten Wissenschaftler, die auf die Bedeutung von iLUC hingewiesen haben, kürzlich fest:
„All models suffer from the uncertainty about whether past economic relationships will hold true in the future." [27]

Übersetzt führt dies zur entscheidenden Frage: Ist man eigentlich mit der Anwendung der globalen Modelle wissenschaftlich auf der richtigen Spur? Oder ist vielmehr das oben beschriebene Phänomen der iLUC-Hypothese auf globaler Ebene zu komplex für die heutigen Möglichkeiten der Modellentwicklung [28], um einheitliche und präzise Vorhersagen zu ermöglichen? Neben dieser modelltheoretischen Frage sind weitere Argumente zu gewichten, die ebenfalls die bisherige globale Ausrichtung der iLUC-Analyse problematisieren.

4.2 These 2: Landnutzungsänderungen führen zu verstärkten Emissionen an Treibhausgasen

Dieser Teil der iLUC-Hypothese ist deutlich klarer fassbar als deren erster Teil. Im Grundsatz ist unstreitig, dass beispielsweise eine Umwandlung einer Waldfläche in eine Ackerfläche einen Verlust des in der Vegetation und im Boden gespeicherten Kohlenstoffs zur Folge hat, weil dieser über kurz oder lang als Treibhausgas Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt. Auch ist eine internationale Verständigung gelungen, welche Kohlenstoffvorräte für welche Flächen bzw. Flächennutzungen zu unterstellen sind. Im Anhang dieser Studie sind zur Illustration entsprechende Schätz- bzw. Defaultwerte zusammengestellt.

Natürlich kann es für konkrete Flächen Abweichungen von den aufgeführten Werten geben. Aber auch in diesen Fällen existieren international abgestimmte Methoden, wie die Ermittlung der Kohlenstoffvorräte dann zu erfolgen hat [29]. In der Praxis werden für die Berechnung von Treibhausgasemissionen durch iLUC die Kohlenstoffvorräte ermittelt, indem uneinheitlich auf die Konventionen und den vorhandenen Datenbestand zurückgegriffen wird. So konnten in den eingangs beschriebenen Untersuchungen Unterschiede bei den verwendeten Basisdaten im Bereich vom Faktor 2 bis 15 beobachtet werden [5]. Diese Beobachtung ist allerdings nur ein Beleg dafür, dass die Datenauswahl zu verbessern ist, stellt aber kein grundsätzliches Problem für die Ermittlung des Treibhauseffektes ausgehend von Landnutzungsänderungen dar.

Sollten für eine gegebene Region, beispielsweise für ein Land, die Veränderungen der Landnutzung bekannt sein oder ermittelt werden können, so kann hieraus mit einer ausreichenden wissenschaftlichen Sicherheit der Treibhauseffekt berechnet werden.

Fazit ist, dass die zweite These der iLUC-Hypothese belegt ist und mit ausreichender Genauigkeit quantifiziert werden kann.

4.3 These 3: Biokraftstoffe stellen keinen sinnvollen Beitrag des Klimaschutzes dar

Die Treibhausgasemissionen, die durch iLUC hervorgerufen werden, und jene, die im Rahmen der Gewinnung des Biokraftstoffs anfallen, ergeben zusammen die gesamten Treibhausgasemissionen des jeweils betrachteten Biokraftstoffs. Im letzten Teilschritt der iLUC-Hypothese wird dieses Ergebnis mit den Treibhausgasemissionen, die von der Verwendung einer äquivalenten Energieeinheit eines konventionellen Kraftstoffs ausgehen (Otto-Kraftstoff oder Diesel), verglichen. Sofern die Differenz zwischen Bio- und konventionellem Kraftstoff nur gering ist oder sogar negativ ausfällt (Biokraftstoff führt zu höheren Emissionen als konventioneller Kraftstoff), erbringt der Biokraftstoff keinen Klimaschutzbeitrag. Diesem dritten Teilschritt der iLUC-Hypothese ist methodisch nicht zu widersprechen.

Einerseits ist aktuell nicht eindeutig zu quantifizieren, wie hoch der globale iLUC-Effekt tatsächlich ist. Andererseits wurde in vielen der durchgeführten Studien zur iLUC-Hypothese ein unzureichender Vergleich durchgeführt. Denn ebenso wie die indirekten Effekte auf der Seite des Biokraftstoffes zu ermitteln gewesen wären, gilt dies gleichermaßen auch für die Seite des Erdöls bzw. des konventionellen Kraftstoffs. Dies illustriert eine Gegenüberstellung von Coleman [30], vgl. Abbildung 4.

Zu den wichtigen indirekten Effekten auf Seiten der konventionellen Kraftstoffe gehört das Thema „unkonventionelles Öl". Unkonventionelle Erdöle sind beispielsweise Bitumen oder Rohöl aus Teersand, Schwerstöl und Schwelöl oder Rohöl aus Ölschiefer. Zudem werden die synthetischen Kraftstoffe aus Erdgas (GtL) und Kohle (CtL) in diesem Zusammenhang als unkonventionelle Kraftstoffe angesehen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zur Zeit unkonventionelle fossile Kraftstoffe ca. fünf Prozent der gesamten Weltölproduktion ausmachen [31]. Diese unkonventionellen Kraftstoffe sind aufgrund ihrer aufwändigeren Herstellung mit deutlich höheren Treibhausgasemissionen verbunden als dies für die konventionellen Erdölvorkommen der Fall ist (bis zu Faktor 2,5). Abbildung 5 zeigt die Treibhausgasemissionen, die mit Kraftstoffen aus unterschiedlichen Erdölvorkommen verbunden sind.

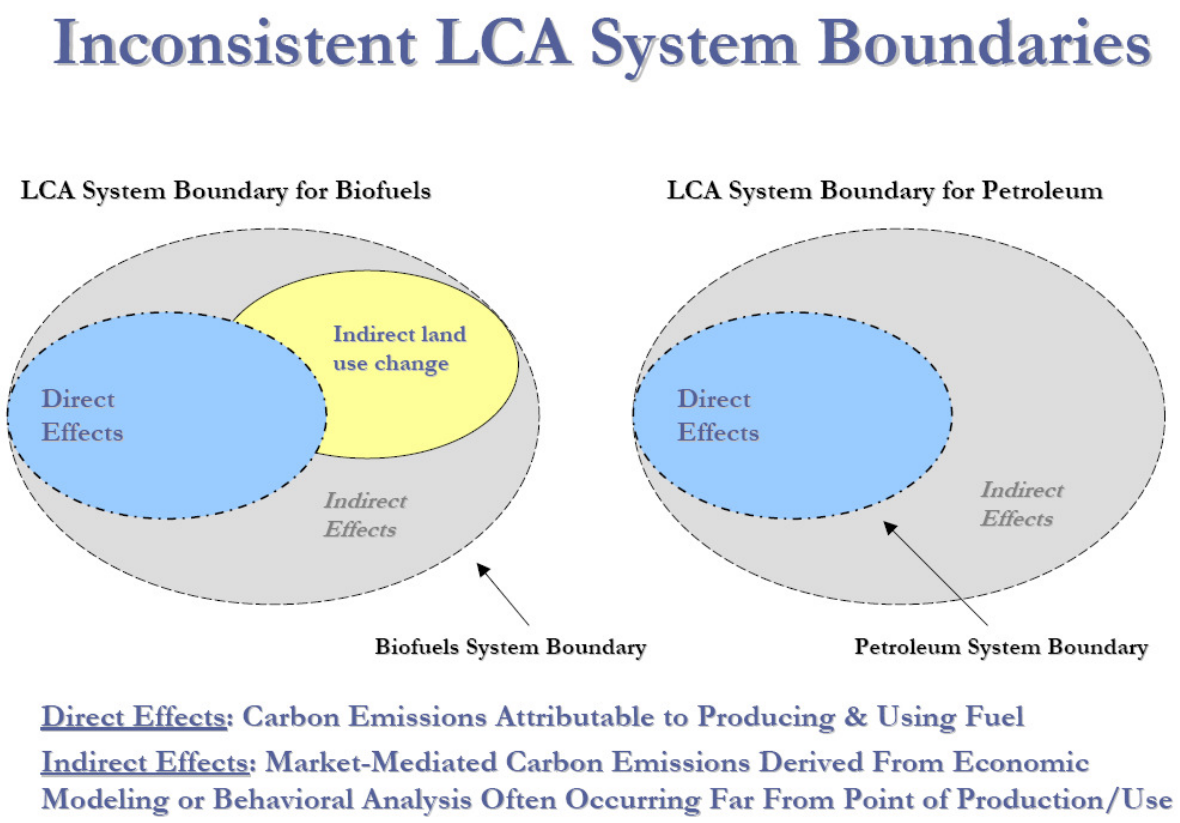

Abbildung 4: Vergleich der Systemgrenzen von Kraftstoffen [30]

Würde der steigende Anteil an unkonventionellem Öl und Tiefseeöl in die Ermittlung der Treibhausgasemissionen konventioneller Kraftstoffe mit einbezogen, müsste dieser Wert um 10 bis 20 Prozent höher angesetzt werden [31]. Weiter wäre bei einem konkreten Vergleich von Biokraftstoffen mit konventionellen Kraftstoffen zu analysieren, *welches* Erdöl durch einen steigenden Biokraftstoffanteil verdrängt würde. **Hier spricht einiges dafür, dass Biokraftstoffe die Expansion in den Bereich unkonventionelles Öl abbremsen und daher die Bezugswerte hier und nicht im Bereich eines Ölmixes über alle Quellenarten zu suchen sind.**

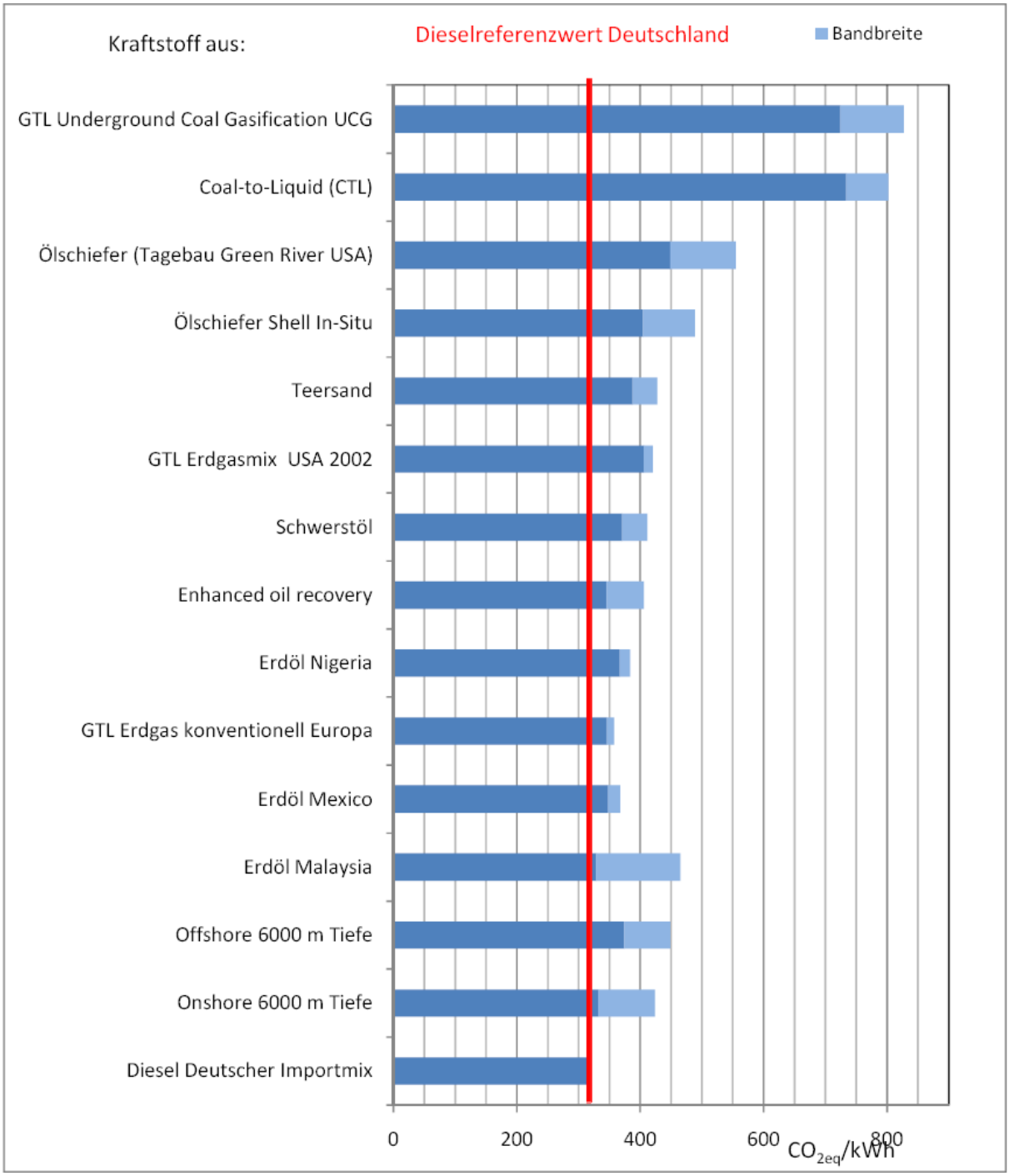

Abbildung 5: Treibhausgasemissionen fossiler Kraftstoffe (WTW[8]) [31]

Auch Störfälle und Unfälle größeren Ausmaßes wie zuletzt die Explosion der Bohrplattform „Deepwater Horizon" und die dadurch ausgelöste großflächige Verschmutzung des **Golfes**

[8] Well to wheel: Bilanzierung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen vom Ausgangsbrennstoff (Bohrloch) bis zur Nutzung des Kraftstoffs im Fahrzeug im Fahrzyklus (Rad)

von Mexiko (GoM) und seiner Küstengebiete samt Aufwand zur Eindämmung bzw. Sanierung der Folgeschäden müssten in der Klimabilanz von Erdöl und daraus hergestellter Kraftstoffe berücksichtigt werden. Tabelle 5 zeigt eine Abschätzung der indirekten Folgewirkungen dieses Unglücks [32].

Tabelle 5: Indirect Carbon Intensity Increase Associated With Gulf of Mexico CH_4 Release, 100Prozent Gasoline Allocation Case [32]

Barrels per day of crude assumed released	60,000
Barrels of crude per ton of crude oil @ API gravity of 33	7.33
Tons of crude oil per day from GoM (Gulf of Mexico)	8,186
Methane release as Prozent of mass of crude release *(per BP estimate)*	40Prozent
GoM tons of methane per day	3,274
Days since start of spill, as of July 15, 2010	*86*
BCF (billion cubic feet) of methane as of July 15, 2010 GOM	4.9
CO_2-equivalent tons indirectly added per day, million metric tons	2.36
CA share of GoM methane emissions	10Prozent
Daily gasoline demand, CA RFG (Re-formulated Gasoline), millions	43.8
CA RFG Btus (British Thermal Units)* per gallon	113,300
MJ per gallon of RFG2	124.8
Daily RFG MJs of demand in CA, billions	5.5
g CO_{2e}/MJ of CA RFG added by GOM release – 20 year GWP	3.9
g CO_{2e}/MJ of CA RFG added by GOM release – 100 year GWP	1.4

* Heizwert (1 BTU = 252 Kalorien)

Fazit des dritten Teils der iLUC-Hypothese ist daher, dass es keine grundsätzlichen methodischen Schwierigkeiten gibt, einen Vergleich der Treibhausgasbilanzen eines Biokraftstoffes und von konventionellen Kraftstoffen durchzuführen. Allerdings ist die Schlussfolgerung in vielen Studien, dass Biokraftstoffe keinen Treibhausgasvorteil bringen, so nicht gerechtfertigt. Einerseits ist die wissenschaftliche Quantifizierung des iLUC-Effekts auf globaler Ebene bisher nicht zweifelsfrei gelungen (s.o.), **andererseits wurden bisher in der Regel die indirekten Effekte für die Ermittlung der Treibhausgasbilanz von konventionellen Kraftstoffen nicht (oder nicht ausreichend) mit einbezogen.** Dabei soll nicht geleugnet werden, dass es auch auf dem Feld der indirekten Effekte für die Kraftstoffgewinnung aus Erdöl einige methodische und insbesondere datenmäßige Defizite gibt und daher weiterer Forschungsbedarf besteht.

4.4 Alternativen zur Berechnung des iLUC-Effektes

Die iLUC-Hypothese, dass Biokraftstoffe aufgrund der von ihnen bewirkten indirekten Landnutzungsänderungen klimapolitisch kontraproduktiv seien, kann mit den vorliegenden Studien *nicht* als belegt gelten. Diese Aussage ist nicht gleich zu setzen mit der Negierung eines iLUC-Effektes hervorgerufen auch durch Bioenergie bzw. Biokraftstoffe. Ganz im Gegenteil wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass es diesen Effekt gibt. Dies belegen allein schon die vielen zu beobachtenden Einzelfälle auf regionaler Ebene. Allerdings ist die Quantifizierung dieses Effektes mit globalen Modellen bisher leider nicht gelungen.

Welche Alternativen bieten sich daher, um iLUC zu erfasssen und zu quantifizieren? Auf regionaler Ebene, in den Nationalstaaten, ist die Datenlage sicherlich in der Regel besser als auf der globalen Ebene. Weiter kann in den Regionen auf den real stattfindenden Landnutzungsänderungen aufgesetzt und der Effekt muss nicht über komplexe Modelle berechnet werden. Der Effekt ist auf regionaler Ebene bereits eingetreten (oder nicht, wenn es entsprechende Schutzgesetze gibt) und kann datenmäßig erfasst und zugeordnet werden. Aber gelingt es, diese realen Zahlen zu einem regionalen Modell zu aggregieren?

Keines der oben bewerteten Modelle kann prognostizieren, wie sich die relevanten Regionen bzw. Länder, die Biokraftstoffe für den Weltmarkt produzieren, in naher Zukunft zum Komplex iLUC politisch positionieren werden. Dies schon allein deshalb nicht, weil die Modelle in der Regel global ausgerichtet sind und regionale Effekte überhaupt nicht oder nur am Rande erfassen. Aber entscheidend für die Bedeutung von iLUC wird zukünftig sein, wie sich die einzelnen Regierungen zur Bekämpfung von iLUC einlassen (s.u.).

Deterministische Modelle können im Übrigen die beschriebenen Probleme für die Erfassung und Quantifizierung des iLUC-Effektes nicht besser lösen. Dies zeigt das Beispiel des hier dargestellten Modells des Öko-Instituts. Im Kern wird mit diesem sehr vereinfachten Modell mit größerem Aufwand ein globaler mittlerer Agrar-Hektar errechnet, der sich aus den aktuellen Welt-Handelsmengen an Rohstoffen[9] und deren jeweiligen Kohlenstoffvorräten[10] zusammensetzt. Würde nun eine zusätzliche Menge an Biokraftstoffen am Weltmarkt geordert, so wird nach diesem Modell eine entsprechende Menge an Landfläche benötigt, in den Ländern würde diese veränderte Bilanz dann durch iLUC kompensiert. Da aber nicht anzunehmen ist, dass der Effekt eins zu eins (quasi zu hundert Prozent) stattfindet, weil

[9] Dabei werden der Handel mit tierischen Produkten und der innerstaatliche Handel ausgeblendet, was zu einem unvollständigen Bild führt.

[10] Methodisch ist dabei zu kritisieren, dass beispielsweise für die Agrarrohstoffe wie Mais oder Weizen die Kohlenstoffvorräte der vorhandenen Ackerflächen herangezogen werden, während für Soja oder Palmöl die durch Landnutzungsänderung hervorgerufenen Kohlenstoffbestandsänderungen eingesetzt werden (Ackerland durch Umwandlung von Savannen oder tropischen Regenwäldern).

beispielsweise ja auch die Möglichkeit bestünde, eine Ertragssteigerung zu erreichen (s.o.), wird mit 25 Prozent oder 50 Prozent gerechnet. Während also die oben dargestellten Modelle über zum Teil sehr aufwändige mathematische Agrarmodelle den iLUC-Effekt zu erfassen versuchen, wird in diesem Ansatz schlicht festgelegt, dass der Effekt 25 Prozent (bzw. 50 Prozent) einer globalen Rechengröße beträgt (deterministischer Ansatz).

Dale [33] etwa kritisiert, dass die bisherigen iLUC-Betrachtungen die Futtermittelherstellung einseitig begünstigen, was aus Sicht der Nachhaltigkeit wenig sinnvoll erscheint.[11] So betrug der Anteil der Landwirtschaft an sämtlichen vom Menschen verursachten Treibhausgas-emissionen im Jahr 2005 etwa 14 Prozent. Wie Berechnungen des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) zeigen, würden die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2055 deutlich zunehmen, wenn der Pro-Kopf-Verbrauch von Lebensmitteln qualitativ und quantitativ so bliebe wie im Jahr 1995. Berücksichtigte man einen mit steigendem Einkommen zunehmenden Verzehr von Fleisch- und Milchprodukten, nähmen die Emissionen noch stärker zu. Würde der Bedarf an Fleisch- und Milchprodukten alle zehn Jahre zwischen 2015 und 2055 um jeweils ein Viertel vermindert, sänken die Emissionen dagegen auf ein Niveau unter dem von 1995 [34].

Es gibt in der wissenschaftlichen Literatur Hinweise, die auf regionaler Ebene die Landnutzungsänderungen (Entwaldung) der Vergangenheit im Zusammenhang mit ökonomischer Entwicklung und Industrialisierung sehen, wobei diese Entwicklung häufig ab einem Entwicklungsgrad der jeweiligen Volkswirtschaften zum Stillstand kommt und sogar in die entgegengesetzte Richtung gehen kann (Netto-Waldvermehrung) [35]. Weiter zeigen Statistiken, dass Landnutzungsänderungen in der Regel nicht durch Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzung *allein* bewirkt wurden, vgl. Tabelle 6 [36]. Allerdings gibt es auch Negativbeispiele aus der Geschichte, was die Entwaldung ganzer Landstriche anbelangt. Entscheidend ist, dass die Veränderungen durch die ökonomischen, kulturellen, sozialen und politischen Gegebenheiten **im jeweiligen Land** definiert werden (vgl. Tabelle 7 nach [37]) – und nicht so sehr von den globalen Agrarmärkten und deren ökonomischen Impulsen geprägt sind [38].

Das heißt, der Schlüssel zum Verständnis der iLUC-Effekte ist nicht in globalen ökonometrischen oder gar deterministischen Agrarmodellen zu suchen, sondern in den jeweiligen Entscheidungen und Entscheidungsstrukturen in den Regionen bzw. Ländern. Dies ist aus Sicht des Autors dieser Studie das wesentliche Manko der bisherigen iLUC-Diskussion. Die Länder mit ihrer Bevölkerung und ihren Regierungen sind außerhalb der Modellbetrachtungen und werden nicht als aktiv handelnde politische

[11] „5. Analysis unfairly advantages animal feed production from land vs. biofuel production. 6. Animal feed production is "sustainable" but biofuel production is not – this is intellectually bankrupt."

Einheiten, sondern eher als den globalen Agrarmärkten willenlos ausgesetzte Objekte gesehen.

Tabelle 6: Frequency of broad clusters of proximate causes in tropical deforestation [36] – Achtung: Kumulierte Werte in den Spalte "cum (Prozent)".

	All cases (*n* = 152)			Asia (*n* = 55)		Africa (*n* = 19)		Latin America (*n* = 78)	
	abs	rel (%)	cum (%)	abs	rel (%)	abs	rel (%)	abs	rel (%)
Single-factor causation									
Agricultural expansion	6	4	4	2	4	1	5	3	4
Wood extraction	2	1	5	0	–	2	11	0	–
Infrastructure expansion	1	1	6	0	–	0	–	1	1
Other[a]	0	–	–	0	–	0	–	0	–
Two-factor causation									
Agro-wood[b]	22	15	20	12	22	2	11	8	10
Agro-infra[c]	30	20	40	3	6	2	11	25	32
Agro-other	5	3	43	1	2	3	16	1	1
Wood-infra	1	1	44	0	–	0	–	1	1
Wood-other	1	1	45	0	–	1	6	0	–
Three-factor causation									
Agro-wood-infra	38	25	70	21	38	2	11	15	19
Agro-wood-other	6	4	74	4	7	1	5	1	1
Agro-infra-other	8	5	79	0	–	0	–	8	10
Wood-infra-other	1	1	80	0	–	0	–	1	1
Four-factor causation									
All	31	20	100	12	22	5	26	14	18
Total	152	100	–	55	100	19	100	78	100

Tabelle 7: Driving forces of tropical deforestation by scale of influence [37]

	Prozent of all cases					
Scales	All factors (range) (n=152 cases)	Demo-graphic factors* (n=93)	Economic factors (n=123)	Technological factors (n=107)	Policy and institutional factors (n=119)	Cultural or socio-political factors (n=101)
Local	**2 – 88**	**88,2**	**2,4**	**23,4**	**4,2**	**15,8**
National	1 – 14	1,3	13,9	2,6	2,1	7,4
Global	0 – 1	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
Several scales: global to local interplays	11 – 94	10,5	82,3	74,0	93,7	76,8

* 6 cases of 'population pressure' (unspecified) could not be attributed to scales. Source: Own data; see Geist & Lambin (2001).

5 Entwicklung eines regionalen Modells zur Berechnung von iLUC

Die Erfassung und Quantifizierung von iLuc sollte nicht global, sondern besser regional stattfinden. Dies wird durch eine ganze Reihe von Erkenntnissen und Argumenten unterstrichen.

5.1 Die wichtigsten Argumente für einen regionalen Ansatz

Viele der Argumente, die für einen regionalen Ansatz sprechen, sind in der Literatur bereits abgehandelt.

5.1.1 Steigerung der Erträge versus LUC

In den Untersuchungen von Mueller und Copenhaver für den US-Bundesstaat Illinois zeigte sich, dass selbst in einem Land wie den USA mit einem weltweit sehr hohen Ertragsniveau die in den letzten Jahren gestiegene Nachfrage nach Biokraftstoffen allein durch eine weitere Steigerung der Erträge gedeckt werden konnte. Ein iLUC-Effekt ist also in Illinois nicht eingetreten. Vielmehr konnten die gestiegene Nachfrage abgedeckt und gleichzeitig die Exportmengen sogar weiter gesteigert werden [39]. Dieses Ergebnis unterstreicht, welche Bedeutung die Entscheidungen der regionalen Akteure haben können. Hierzu siehe auch die Ergebnisse von Lambin & Geist in Tabelle 7 auf Seite 25.

Die regionale Gestaltungsoption, **über die Steigerung der Ernteerträge eine höhere Agrarproduktion zu erreichen**, ist insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern von Bedeutung. Schon mit vergleichsweise geringen Geldbeträgen könnte hier eine sehr hohe Steigerungsrate erreicht werden. Und die Realität zeigt diese regionalen Unterschiede deutlich. Wir können in allen Kontinenten auf positive und negative Länderbeispiele verweisen.

5.1.2 Inländische Entwicklungen

Ein regionaler iLUC-Effekt kann ganz konkrete Formen und Akteure aufweisen. Pächter A wird aufgrund der erhöhten inländischen Nachfrage nach Bioenergie von seinem Weideland verdrängt und sucht sich eine neue Fläche für seine Rinderzucht und wandelt hierfür Savanne oder Waldflächen um. Diese Kausalität hat keine relevante Beziehung zum internationalen Marktgeschehen. Der verstärkte Bedarf nach Bioenergie ist vielmehr häufig das Ergebnis politischer Entscheidungen im Land [40]. Erweitert man die Betrachtung auch auf andere Agrarsektoren, deren Steigerung zu iLUC führt, wird dieser Zusammenhang noch deutlicher. So führt ggf. auch ein gesteigerter Fleischkonsum im Land zu iLUC. Dieser Effekt würde aber ebenfalls primär inländisch entstehen. Verändern sich in einer Regionen beispielsweise die Einkommensverhältnisse und infolge dessen der Nahrungsmittelkonsum (mehr Fleisch- und Milchprodukte, China), so wird der erhöhte Bedarf insbesondere in den klassischen

Agrarländern primär durch eine inländisch verstärkte Produktion gedeckt werden. Diese Entwicklungen verändern zunächst und vor allen Dingen die regionalen Agrarstrukturen, bevor eventuelle Auswirkungen auf globale Märkte eintreten, da der steigende Bedarf bzw. die steigende Finanzkraft zunächst Signale direkt und unmittelbar an die regionalen Märkte sendet [41]. So bedeutet ein höherer Fleischkonsum zuerst einmal die Stärkung eines *regionalen* Marktes für Fleisch. Die Folge dürften Verschiebungen im Bereich der Flächennutzung sein, ggf. auch dLUC oder iLUC.

5.1.3 Bedeutung des Binnenhandels

Es ist anzunehmen, dass in großen Agrarländern der Binnenhandel eine besonders große Bedeutung hat. Die international gehandelten Warenmengen betragen, je nach landwirtschaftlichem Produkt, nur 10 bis 15 Prozent der jeweils produzierten Mengen. Nach Fritsche et al. [16] entfielen im Jahr 2006 nur 14 Prozent der Weltproduktion an Industrial wood and forestry products auf den internationalen Handel, bei Agrarprodukten waren es 13 Prozent und bei Bioenergieträgern sogar nur ein Prozent. Hieraus kann, wie oben dargestellt, abgeleitet werden, dass die Handelsströme innerhalb der Nationalstaaten gegenüber dem Welthandel aufgrund ihrer oftmals mengenmäßig höheren Bedeutung bei der Betrachtung des iLUC-Problems einbezogen werden müssen. Dies gilt auch für den Bereich der Biokraftstoffe, mit einer Ausnahme: Palmöl aus Indonesien/Malaysia, da Palmöl in diesen Ländern primär für den Export und nicht für den heimischen Konsum prodziert wird [42].

5.1.4 Kein „freier" Weltagrarhandel

Weiter ist einzubeziehen, dass die global ausgerichteten Berechnungen von iLUC mit dem Problem umzugehen haben, dass gerade die internationalen Agrarmärkte nicht frei von staatlichen Reglementierungen sind. Es findet eben kein vollständig freier Welthandel statt. Regionen bzw. Nationalstaaten haben sehr unterschiedliche Entscheidungen getroffen, ihre regionalen Märkte von den Weltmärkten durch Importzölle, Subventionen, Export- oder Importverbote abzuschotten. Dies alles ist nicht nur unterschiedlich von Region zu Region, sondern ändert sich auch ständig durch politische Entscheidungen. Exemplarisch sei nur das Exportverbot von Reis in Vietnam im Jahr 2008 oder die aktuellen Entscheidungen in Russland zum Verbot des Exports von Getreide genannt. **Gelegentlich werden die Entwicklungen auf den globalen Agrarmärkten dann noch über Aktivitäten von Finanzspekulationen verändert.** So wurden etwa die Agrarpreissteigerungen in den Jahren 2006/2008 fälschlicherweise den Biokraftstoffen zugeschrieben [43]. Schäfer [41] berichtet etwa anhand der Börsenzahlen an der CBOT (Chicago Board of Trade), dass die physische Weltproduktion von Sojabohnen knapp 20 mal pro Jahr „gedreht" wird, im interkontinentalen Handel sogar 54 mal.

5.1.5 Strategische und politische Entscheidungen in den Regionen

Weiter sind **strategische Entscheidungen** regionaler Akteure zu beachten. So hatten sich in Argentinien „Landeinkäufer" und „Landpächter" verstärkt betätigt, weit im Vorfeld von globalen Marktentwicklungen, nur auf der Basis von angekündigten politischen Entscheidungen in den USA und Europa. Diese Aktivitäten können später zu LUC bzw. iLUC führen, können aber nur regional erkannt werden. In diesem Zusammenhang sind auch die strategischen Entscheidungen einzelner Regierungen zu nennen, in Entwicklungs- und Schwellenländern Land zu kaufen oder zu pachten. Diese für das regionale Geschehen in einzelnen Ländern wichtigen Einflüsse sind nicht mit ökonomischen Modellen zu erfassen, weil sie keiner ökonomischen, sondern einer **politischen Logik** folgen. So warnt das Dezernat Zukunftsanalyse des Zentrums für Transfomation der Bundeswehr in seiner im Juli 2010 veröffentlichten PEAK OIL-Studie vor verschärften Auseinandersetzungen um die strategische Ressource Land [44]:

> „Die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen wird auch durch global agierende Staaten und Unternehmen forciert, die schon heute weltweit Flächen kaufen oder pachten (vgl. Abbildung 6). Diese strategischen Engagements im Agrarsektor dürften sich ausweiten, wobei bei der Aneignung von Grund und Boden staatliche und privatwirtschaftliche oder gar substaatliche Interessen nicht leicht zu trennen sind."

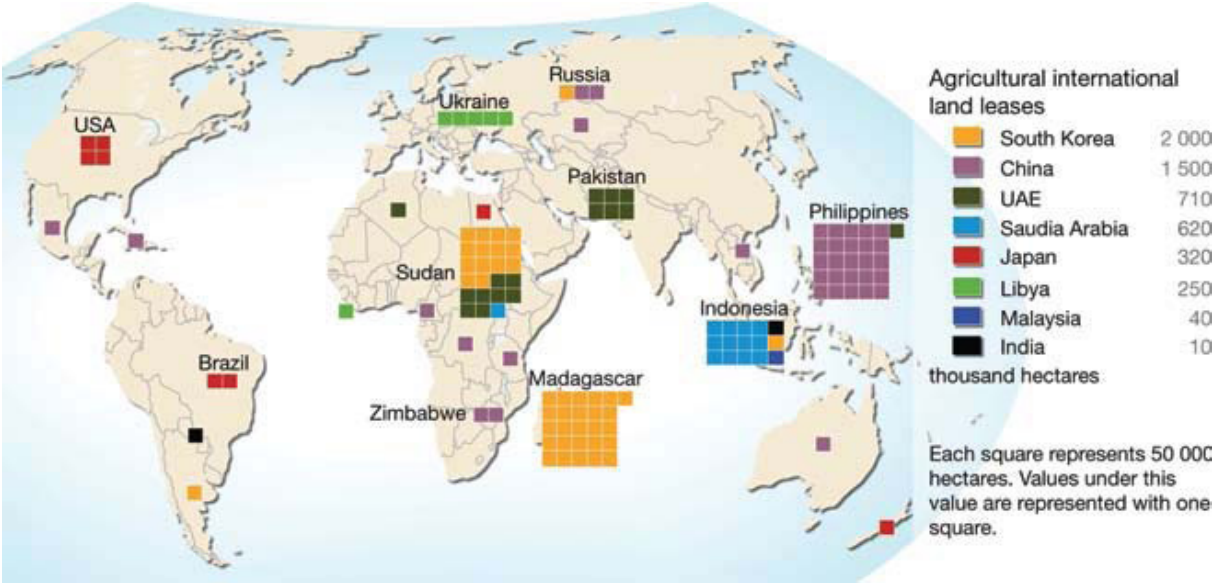

Abbildung 6: Internationale Landverpachtung [44]

Warum es zielführender ist, iLUC über die regionalen Zahlen und Verhältnisse zu ermitteln, zeigt schließlich ganz plastisch das Beispiel Brasilien. Abbildung 7 stellt die regionale Entwicklung der Bioethanolproduktion und die Rodung von Regenwäldern in Brasilien einander gegenüber [45].

Zunächst macht Abbildung 7 deutlich, dass trotz des leichten Rückgangs der Rodungsaktivitäten die absoluten Zahlen an Regenwaldverlusten immer noch viel zu hoch sind. Die Abbildung zeigt aber **nicht**, dass es eine zwangsläufige Korrelation zwischen Regenwaldrodung und Ethanolproduktion gibt. Die Steigerung der Ethanolproduktion hat nicht zu einer Zunahme der Regenwaldrodung geführt, vielmehr sind die Trends gegenläufig. Im Umkehrschluss heißt es daher, dass es andere landesspezifische Einflüsse gegeben haben muss, die dazu geführt haben, dass der Regenwaldverlust **trotz Produktionssteigerung** und iLUC leicht zurückgegangen ist. Denn für andere Länder gibt es im gleichen Zeitraum andere Kurvenverläufe zwischen LUC und Biokraftstoffproduktion. Dort hat die Regenwaldabholzung nicht ab-, sondern vielmehr sogar zugenommen, ebenso wie die Agrarproduktion. Die positiven landesspezifischen Effekte in Brasilien (Abnahme der Regenwaldverluste) könnten daher auf politische Interventionen zur Verbesserung des Schutzes des Regenwalds zurück zu führen sein, so eine naheliegende Hypothese. Bleibt zu hoffen, dass dieser Trend andauert. Aber selbst wenn die brasilianische Regierung mit dem Ziel scheitern würde, den Regenwaldschutz zu verbessern, bliebe dies ein Versagen der Gestaltungskraft einer Regierung und damit ein regionaler Effekt (und nicht eine unpolitische „Schicksalsfolge" einer globalen Agrarökonomie).

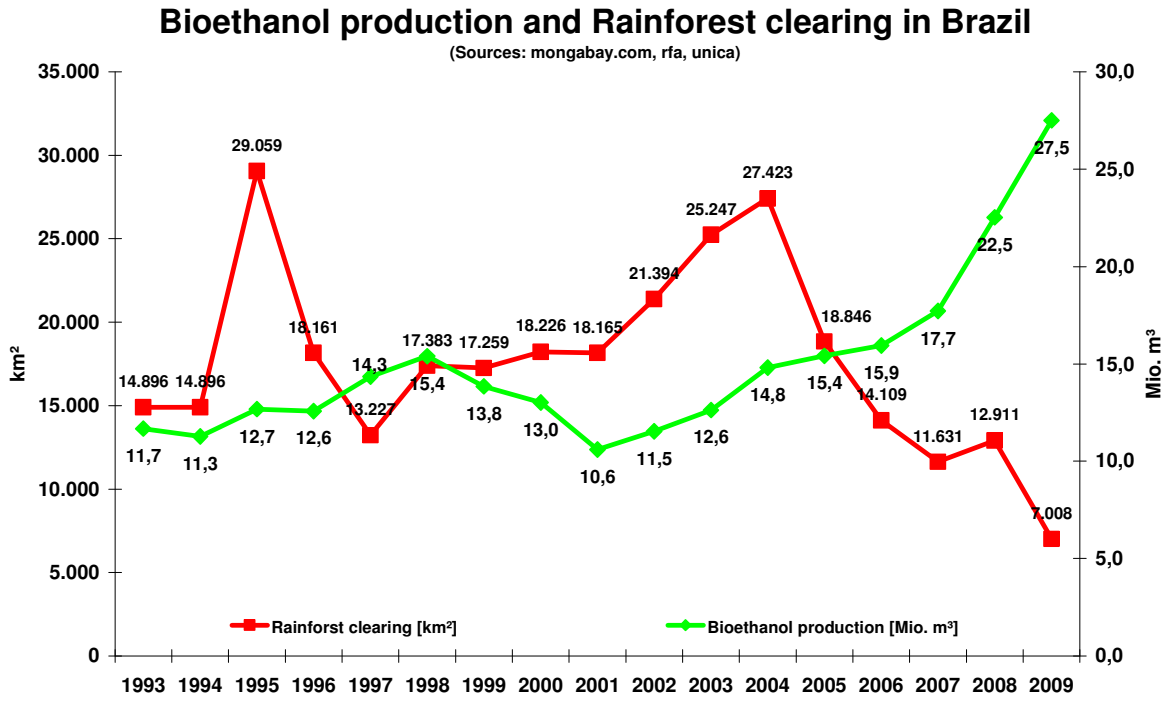

Abbildung 7: Bioethanolproduktion und Regenwaldrodung in Brasilien [45]

5.2 Grundzüge eines regionalen Modells

Vieles spricht für einen regionalen Ansatz, aber wie könnte man ihn berechnen? Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die regionalen Verhältnisse zum Komplex Agrarproduktion

und LUC zu erfassen und zu berechnen. Im Folgenden wird eine mögliche Variante vorgestellt. Ziel der Berechnung ist es, die Treibhausgasemissionen zu ermitteln, die **in einer Region** durch iLUC aufgrund einer spezifischen Biokraftstoffproduktion entstehen.

Die Treibhausgas-Emissionen der Produktion und des Gebrauchs von Kraftstoffen sollen nach der in Kraft befindlichen EU-Richtlinie Erneuerbaren Energien sowie der EU-Kraftstoffrichtlinie [4, 46] wie folgt ermittelt werden:

Formel 1

$$\mathbf{E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}}$$

Dabei gilt:

- **E** total emissions from the use of the fuel [g CO_{2eq}/MJ]
- $\mathbf{e_{ec}}$ emissions from the extraction or cultivation of raw materials
- $\mathbf{e_l}$ **annualised emissions from carbon stock changes caused by land use change**
- $\mathbf{e_p}$ emissions from processing
- $\mathbf{e_{td}}$ emissions from transport and distribution
- $\mathbf{e_u}$ emissions from the fuel in use
- $\mathbf{e_{sca}}$ emission savings from soil carbon accumulation via improved agricultural management
- $\mathbf{e_{ccs}}$ emission savings from carbon capture and geological storage
- $\mathbf{e_{ccr}}$ emission savings from carbon capture and replacement
- $\mathbf{e_{ee}}$ emission savings from excess electricity from cogeneration

Hierbei steht $\mathbf{e_l}$ für die direkten Landnutzungsänderungen, die durch die Produktion des Biokraftstoffes hervorgerufen wurden.

Formel 1 bedeutet, dass es zukünftig für die wichtigen Biokraftstoff-Exportländer Zahlen zum jährlich stattgefundene dLUC geben (können) wird. Indirekte Effekte sind in obiger Formel **nicht** enthalten. Sollte iLUC in die EE- bzw. Biokraftstoff-Richtlinie aufgenommen werden, so kann dies über die Aufnahme einer weiteren Größe in die obige Formel erfolgen (hier als regionaler iLUC-Faktor).

Der Rechengang für das hier vorgestellte Modell erfolgt in fünf Schritten:

- Schritt 1 – Ermittlung von LUC
- Schritt 2 – Ermittlung der CO_2-Emission durch LUC
- Schritt 3 – Ermittlung des Biokraftstoffsektor-Anteils an den CO_2-Emission durch LUC
- Schritt 4 – Ermittlung der CO_2-Emission des Biokraftstoffsektors durch iLUC
- Schritt 5 – Optionen zur Allokation der iLUC-Emissionen

5.2.1 Schritt 1 – Ermittlung von LUC

Zunächst wird für einen Betrachtungszeitraum (Jahr) für eine Region (Nationalstaat[12]) ermittelt, in welchem Umfang Landnutzungsänderungen stattgefunden haben. Es wird also für die Berechnung herangezogen, was in der Vergangenheit (z.B. letztes oder vorletztes Jahr) an Landnutzungsänderung und Agrarproduktion tatsächlich stattgefunden hat. Diese Zahlen liegen in der Regel vor, auch wenn die Exaktheit der Zahlen manches Mal zu wünschen übrig lässt. Die Landnutzungsänderungen auf regionaler Ebene müssen für alle relevanten LUC-Arten getrennt voneinander ermittelt werden – also wie viel Hektar Regenwald in Acker umgewandelt wurden, wie viel Hektar Savanne in Acker usw. usf. Formel 2 illustriert die Berechnung.

Formel 2

$$\mathbf{LUC^R = LUC^R_{RFL/CL} + LUC^R_{FL/CL} + LUC^R_{BL/CL} + LUC^R_{FL/WL} + LUC^R_{RFL/GLtrop} + LUC^R_{FL/GLtemp} + LUC^R_{GLtrop/CL} + LUC^R_{OLn/OLn+1}}$$

Dabei gilt:

R	regional
RFL	Regenwaldland (Rain Forest Land)
FL	Waldland (Forest Land)
BL	Buschland
CL	Ackerland (Crop Land)
GLtemp	Grasland, gemäßigt
GLtrop	Grasland, tropisch
WL	Feuchtland (Wet Land)
OL	sonstiges Land (Other Lands)

5.2.2 Schritt 2 – Ermittlung der CO_2-Emission durch LUC

Aus diesen einzelnen Beiträgen zu LUC jeweils in Hektar lässt sich über die Ermittlung des jeweiligen Kohlenstoffbestands (CS = carbon stock) in der Vegetation und im Boden vor und nach der Landnutzungsänderung ein Verlust oder Zugewinn an Kohlenstoff ermitteln (vgl. auch Kap. 4.2). In der Regel ist für die hier vorzunehmenden Berechnungen von einem Verlust an Kohlenstoff auszugehen. Dieser kann über einen Stöchiometriefaktor in CO_2-Emissionen ausgedrückt werden. Das Berechnungsergebnis würde also die in der Region im Betrachtungszeitraum stattgefundenen CO_2-Emissionen $\mathbf{E^R_{Luc}}$ aufgrund von Landnutzungsänderungen erfassen. Nach EE-Richtlinie sind diese Emissionen auf 20 Jahre zu verteilen.

Formel 3

$$E^R_{Luc} = [LUC^R_{RFL/CL} \cdot (CS_{RFL} - CS_{CL}) + LUC^R_{FL/CL} \cdot (CS_{FL} - CS_{CL}) + LUC^R_{BL/CL} \cdot (CS_{BL} - CS_{CL}) + LUC^R_{FL/WL} \cdot (CS_{FL} - CS_{WL}) + LUC^R_{RFL/GLtrop} \cdot (CS_{RFL} - CS_{GLtrop}) + LUC^R_{FL/GLtemp} \cdot (CS_{FL} - CS_{GLtemp}) + LUC^R_{GLtrop/CL} \cdot (CS_{GLtrop} - CS_{CL}) + LUC^R_{OLn/OLn+1} \cdot (CS_{OLn} - CS_{OLn+1})] \cdot 3{,}664/20$$

5.2.3 Schritt 3 – Ermittlung des Biokraftstoffsektor-Anteils an den CO_2-Emission durch LUC

Aus dieser Gesamt-Emission durch LUC (E^R_{Luc}) wird im dritten Berechnungsschritt ermittelt, welcher Anteil dieser Emissionen den jeweils betrachteten Biokraftstofftypen zuzuordnen ist. Hierbei wird angenommen, dass LUC insgesamt von allen landwirtschaftlichen Sektoren gleichermaßen verursacht wird und dass die Intensität von LUC mit der Zunahme der landwirtschaftlichen Produktion direkt und linear korreliert. Unter dieser sicherlich vereinfachten, aber **konservativen Annahme**, die aber in der Tendenz die realen Prozesse sicherlich bestmöglich abbildet, kann nun der Anteil der Emissionen ermittelt werden, der durch eine erhöhte Produktion von Biokraftstoffen hervorgerufen wurde. Er ergibt sich aus dem Verhältnis der erhöhten Biokraftstoffproduktion zur landwirtschaftlichen Produktion insgesamt. Der Produktionsanstieg **Δ Agr** wird in „Megagramm Getreideeinheit"[13] ermittelt. Er ergibt sich nach folgender Formel aus den relevanten Produktionssektoren:

Formel 4

$$\Delta Agr^R = \Delta Agr^R_{food} + \Delta Agr^R_{feed} + \Delta Agr^R_{x1fuel} + \Delta Agr^R_{x2fuel} \ldots + \Delta Agr^R_{xnfuel} + \Delta Agr^R_{energy} + \Delta Agr^R_{chemistry} + \Delta Agr^R_{others}$$

Hierbei gilt:

R	regional
chemistry	Chemiesektor
energy	Energiesektor
feed	Tierfuttersektor
food	Lebensmittelsektor
fuel	Biokraftstoffsektor

[12] Es sind auch andere Optionen für die Strukturierung des regionalen Ansatzes denkbar. So kann iLUC etwa für zusammenhängende Märkte wie die EU berechnet werden, oder in einem großen Nationalstaat sind die Verhältnisse auch getrennt für unterschiedliche Provinzen ermittelbar.

[13] "Die Getreideeinheit ist ein für pflanzliche und tierische Erzeugnisse festgelegter Faktor. Sie beschreibt das Energielieferungsvermögen pflanzlicher Erzeugnisse im Verhältnis zu dem für Futtergerste errechneten Vermögen. Die tierischen Erzeugnisse werden nicht nach ihrem eigenen, sondern nach dem Nettoenergiegehalt des Futters bewertet, welches durchschnittlich zu ihrer Erzeugung erforderlich ist."
Als Bezugswert wurde Gerste gewählt: 1 dt (Dezitonne = 100 kg) Gerste = 1 dt Getreideeinheit. 1 dt Mais = 1,10 dt GE, 1 dt Körnerraps = 2,46 dt GE, 1 dt Vollmilch = 0,86 dt GE, 1 dt Eier = 2,57 dt GE,

x1fuel Biokraftstofftyp x, wobei 1 z.B. Ethanol aus Zuckerrohr und 2 Biodiesel aus Sojaöl sein könnte. Die Summe aller im Land gewonnenen Biokraftstoffe ist Agr^R_{fuel}.

Aus dem Quotienten von z.B. $\Delta\, \mathbf{Agr^R_{x1fuel}}$ durch $\Delta\, \mathbf{Agr^R}$ lässt sich nun mit Hilfe von $\mathbf{E^R_{LUC}}$ die Emission $\mathbf{E^R_{LUC,\ x1fuel}}$ bestimmen, die auf den jeweiligen Biokraftstoff x1 zurückzuführen ist.
Das Produkt aus dem genannten Quotienten und der Emission der gesamten landwirtschaftlichen Produktion ist dann die dem Biokraftstoffsektor zuzurechnende Emission an CO_{2eq}.

Formel 5

$$\mathbf{E^R_{LUC,\ x1fuel}} = \mathbf{E^R_{LUC}} \cdot \frac{\Delta\, \mathbf{Agr^R_{x1fuel}}}{\Delta\, \mathbf{Agr^R}}$$

5.2.4 Schritt 4 – Ermittlung der CO_2-Emission des Biokraftstoffsektors durch iLUC

Im vierten Berechnungsschritt wird von den insgesamt durch den Biokraftstoff x1 hervorgerufenen Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen derjenige Anteil abgezogen, der in dem jeweiligen Land im Betrachtungszeitraum als direkte Emissionen (dLUC) über den Vollzug der EE-Richtlinie erfasst wird (s.o.). Das Ergebnis ist dann der Anteil an Emissionen in der Region, der indirekt durch den Biokraftstoff x1 verursacht wurde.

Formel 6

$$\mathbf{E^R_{iLUC,\ x1fuel} = E^R_{Luc,\ x1fuel} - E^R_{dLUC,\ x1fuel}}$$

5.2.5 Schritt 5 – Optionen zur Allokation der iLUC-Emissionen

Im fünften Schritt wird die erhaltene Emission einem „Verursacher" zugeordnet. Hierfür gibt es allerdings unterschiedliche Optionen. Da es keine zwingenden, aus dem Modell abzuleitenden Gründe gibt, welche Option zu wählen ist, werden die wesentlichen Optionen im Folgenden alternativ zueinander dargestellt. Die Auswahl der Optionen sollte nach regulatorischen Gesichtspunkten vorgenommen werden (s.u.).

5.2.5.1 Allokation auf die Verursacherebene

Die erhaltene Emission $\mathbf{E^R_{iLUC,\ x1fuel}}$ kann auf die einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe in der Region verteilt werden und zwar in dem Umfang, wie die einzelnen Akteure durch Produktionssteigerung am iLUC-Effekt beteiligt waren. Vorraussetzung für diese Form der

1 dt Schwein = 3,50 dt GE, 1 dt Milchkuh = 6,70 dt GE. http://www.tll.de/ainfo/pdf/ge_schl.pdf

Allokation ist das Vorliegen einer belastbaren Agrarstatistik, was für viele, aber nicht alle relevanten Agrarstaaten der Fall ist. Der Vorteil dieser Allokation wäre, dass es eine direkte Lenkungswirkung auf Ebene der Einzelbetriebe gäbe. Weiter könnte das Modell so konstruiert werden, dass lediglich diejenigen Akteure einen entsprechenden iLUC-Aufschlag erhielten, die ihre Produktionssteigerung über eine Ausweitung der Landnutzung erreicht hätten. Diejenigen, die ihre Produktionssteigerung durch Intensivierung erreicht hätten, würden ausgeklammert. Dies wäre sicherlich eine gewünschte Lenkungswirkung.

Schließlich würde bei dieser Allokation für die Akteure auf betrieblicher Ebene eine Motivation entstehen, dass iLUC insgesamt vermieden oder bekämpft wird. Allerdings kann ein einzelner Akteur selbst wenig unternehmen, um die komplexen Geschehnisse in der Region zur Flächenumwandlung positiv zu beeinflussen. Um dies zu erreichen, könnte über Untervarianten dieses Modells nachgedacht werden. So sind Formen eines **Emissionshandels** denkbar, die es dem einzelnen Betrieb erlauben, eine Flächenerweiterung durchzuführen **und** einen Beitrag zur Bekämpfung von iLUC zu leisten. Ein Nachteil dieser Form der Allokation auf einzelbetrieblicher Ebene ist es, dass ein großer verwaltungstechnischer Aufwand betrieben werden muss.

5.2.5.2 Allokation auf die regionale Ebene

Weniger Aufwand wäre, die Emissionen durch iLUC auf die im Betrachtungszeitraum insgesamt in der Region produzierten Biokraftstoffe zu allozieren. Von Nachteil wäre, dass hierdurch keine individuelle Lenkungswirkung erreicht werden könnte. Die Akteure auf einzelbetrieblicher Ebene würden allerdings Interessen entwickeln, dass sich die staatliche Ebene insoweit um die Problematik kümmert, dass die regionalen iLUC-Werte niedrig ausfallen, um keine Nachteile beim Export von Biokraftstoffen nach Europa zu haben.
Dies bedeutet, dass auch bei einer Allokation auf regionaler Ebene eine Lenkungswirkung primär durch die in den jeweiligen Nationalstaaten vorhandene Entscheidungsebene, also im Wesentlichen durch die Regierungen, erreicht werden kann.

Die pauschale Allokation auf die Biokraftstoffprodukte der gesamten Region kann wiederum in Form unterschiedlicher Untervarianten erfolgen, die hier nur kurz angerissen werden sollen.

a) Keine Differenzierung nach Biokraftstofftyp

Verwaltungstechnisch am einfachsten wäre es, die Differenzierung nach Biokraftstofftyp aufzugeben und einen regionalen iLUC-Faktor für alle Biokraftstoffe der Region zu ermitteln. Von Nachteil hierbei wäre allerdings, dass einiges an Lenkungswirkung verloren gehen würde, da die unterschiedlichen Biokraftstoffe in den Regionen Besonderheiten aufweisen, was Landnutzung und iLUC anbelangt.

b) Differenzierung nach Biokraftstofftyp

Würde die Differenzierung nach Biokraftstoffarten beibehalten werden, könnte die Allokation der errechneten Emission auf den insgesamt in der Region im Betrachtungszeitraum erzeugten Biokraftstoff erfolgen. Von Nachteil an diesem Vorschlag wäre, dass bei Biokraftstoffen, die in der Region traditionell in großem Umfang erzeugt würden, die ermittelten iLUC-Emissionen natürlich auf ein großes Volumen an Kraftstoff verteilt werden, was zu niedrigen spezifischen Emissionswerten führt. Würde eine Biokraftstoffart (Pflanzenart) in einer Region neu angebaut werden sollen und würde in diesem Zeitraum eine hohe Produktionssteigerung erfolgen, so wäre hier der iLUC-Faktor besonders hoch. Diesem Nachteil steht als Vorteil gegenüber, dass eine große Markttransparenz vorhanden wäre, die für alle Akteure Motivation sein kann, iLUC effektiv zu bekämpfen.

Die beschriebenen Verteilungseffekte können vermindert werden, wenn nicht auf die jeweilig *produzierten* Biokraftstoffmengen alloziert würde, sondern auf die Produktions*steigerungen*. Allerdings hätte dieser Vorschlag den Nachteil, dass es schwierig sein dürfte, diesen iLUC-Faktor am Markt dann individuellen Chargen zuzuordnen.

5.2.6 Auswahl einer Option

Im Folgenden wird eine der beschriebenen Otionen ausgewählt und durchgerechnet. Dies ist erforderlich, um weiter unten Modellberechnungen durchführen zu können, um die Eignung des Modells zu testen. Es wird hier die Option **Allokation auf regionaler Ebene** betrachtet und hierbei die Untervariante **Verteilung auf die produzierte Biokraftstoffmengen differenziert nach Biokraftstoffarten.**

In den wichtigen Exportländern für Biokraftstoffe werden in der Regel mehrere Pflanzenarten für Biokraftstoffe angebaut. Es wird daher in der Berechnung kein pauschaler Wert über alle in der Region erzeugte Biokraftstoffe ermittelt, sondern es wird zwischen den Biokraftstoffen nach Rohstoffbasis differenziert. Dies verbessert nicht nur die Aussagekraft der erhaltenen Daten; es erscheint auch deshalb erforderlich, weil sich die Märkte für beispielsweise Ölpflanzen oder Zuckerrohr/Getreide getrennt entwickeln.

Um diese Option zu entwickeln, müsste daher in Formel 1 – die Ermittlung der Treihausgas-Emissionen entsprechend der EU-Richtlinien – eine ergänzende Größe eingeführt werden. Sie wird im Folgenden als $\mathbf{e^{r}_{iLUC,\ x1fuel}}$ bezeichnet. Die Indizierung soll ausdrücken, dass es sich um einen **regionalen** iLUC-Faktor handelt. Die Größe wird also für eine Region berechnet, beispielsweise für einen Nationalstaat oder die in einem Nationalstaat relevanten Akteure (vgl. Kap. 5.2.5). Sie bildet die Treibhausgasemissionen in g CO_{2eq}/MJ aufgrund von iLUC ab, die für die jeweilige **Biokraftstoffart x** (hier x1) hervorgerufen wurden.

Die in Schritt 4 ermittelte Emission ($\mathbf{E^R_{iLUC,\ x1fuel}}$) ist durch die im Betrachtungszeitraum erzeugte jeweilige Biokraftstoffmenge $\mathbf{Agr^R_{x1fuel}}$ in MJ zu dividieren. Hierdurch erhält man ein Ergebnis für einen regionalen iLUC-Faktor $\mathbf{e^r_{iLUC,\ x1fuel}}$ für den Biokraftstoff x1. Parallel kann aus den Landesstatistiken auch ein iLUC-Faktor für den Biokraftstoff x2 und die weiteren Biokraftstoffe ermittelt werden.

Formel 7

$$\mathbf{e^R_{iLUC,\ xfuel}} = \frac{\mathbf{E^R_{iLUC,\ xfuel}}}{\mathbf{Agr^R_{xfuel}}} \cdot \mathbf{KF_{KP}}$$

Die Problematik der Kuppelprodukte kann in Formel 7 durch Multiplikation mit einem Korrekturfaktor $\mathbf{KF_{KP}}$ erfasst werden, vgl. Tabelle 8. So macht sich etwa der Einsatz von Kuppelprodukten als Viehfutter positiv bemerkbar, da hierdurch iLUC reduziert wird (Reduzierung der benötigten Flächen für den Futtermittelanbau).

Der Rechengang kann über ein Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. EXCEL, OpenCalc) programmiert und dann für unterschiedliche Dateneingaben (Länder, Jahre, Biokraftstoff-arten) angewendet werden.

Tabelle 8: Korrekturfaktoren KF_{KP} für Agr^R_{xfuel} aufgrund des Anfalls von Kuppelprodukten, die landwirtschaftlich verwendet werden[14]

Ausgangsmaterial (crop feedstock)	Anteil Kuppel-produkt [47]	Daraus erzeugter Biokraftstoff	Korrekturfaktor[1] KF_{KP}
Soja	83 Prozent	Biodiesel	0,17
Sonnenblumen	60 Prozent	Biodiesel	0,40
Rapssaat	57 Prozent	Biodiesel	0,43
Mais	30 Prozent	Bioethanol	0,70
Palmöl	2 Prozent	Biodiesel	0,98
n.n.	0 Prozent	n.n.	1,00

[1] Annahme: 100 Prozent Einsatz des Kuppelproduktes in der Landwirtschaft; hierzu siehe auch [48]

5.2.6.1 Ergänzen des „internationalen" iLUC-Effektes

Im gezeigten Modell wird iLUC ausschließlich auf die regionale Landwirtschaft bezogen. iLUC-Effekte durch den Welt-Agrarhandel werden durch eine Ergänzungsrechnung abgebildet.

E^R_{Luc} aus Formel 3 erfasst alle Emissionen, die im Betrachtungszeitraum in einem Land durch direkt und indirekt verursachte Landnutzungsänderungen entstanden sind. Daher ist die Summe aller regionalen Emissionen gleich der globalen Emission. Die Bilanz ist vollständig, es sind keine Emissionen denkbar, die nicht erfasst werden – sofern natürlich die regionalen Zahlen zutreffend waren. Letzteres ist aber kein Argument, was die grundsätzliche Vollständigkeit der globalen Bilanz in Frage stellt.

Formel 8

$$\sum E^R_{Luc} = E^{glo}_{Luc}$$

Der Welt-Aagrarhandel hat daher auf der Ebene der Gesamtemissionen in der Region einen Einfluss, dieser Einfluss wird aber im hier entwickelten Modell vollständig erfasst.

Ein konkretes Fallbeispiel soll dies verdeutlichen: Würde in den USA die Maisproduktion verstärkt zur Biokraftstoffgewinnung eingesetzt werden, würde dies auf dem Weltmarkt einen Bedarf nach Mais für z.B. Nahrungs- oder Futtermittel erzeugen. Dieser Bedarf könnte in anderen Ländern zu einer erhöhten Produktion und diese wiederum zu LUC/iLUC führen. Dieser Effekt würde in unserem Modell nicht der US-Agrarproduktion, sondern der Agrarproduktion in dem Land, welches auf die US-Marktverschiebung am Weltmarkt reagiert, zugeschrieben. Dieser iLUC-Effekt würde im Modell in der Region, die LUC zulässt, vollständig erfasst und den Agrarprodukten zugeschrieben werden können. Nach dem Verursacherprinzip scheint es richtig, diesen Effekt nicht in den USA, sondern in der Region, die LUC zulässt, zu erfassen und diese ggf. zu sanktionieren.

In einer regulatorischen Situation, **in der nur der Biokraftstoffsektor und nicht auch die anderen Sektoren (s.u.) erfasst werden**, kann allerdings in der beschriebenen Fallkonstellation eine Unzulänglichkeit des Modells auftreten. Das Defizit tritt dann auf, wenn man die Betrachtung nach einzelnen Agrarprodukten wie Brotgetreide oder Bioethanol aufschlüsselt. Hier kann es zu Verschiebungen zwischen den Agrarprodukten bzw. Sektoren kommen. Es ist denkbar, auch wenn die Gesamtbilanz vollständig ist, dass der Sektor A in unserem Modell aufgrund des Welt-Agrarhandels höhere iLUC-Werte aufweisen müsste, und der Sektor B entsprechend niedrigere. Die Verschiebungen können je nach Kostellation in beide Richtungen gehen. Diese Verschiebungen zwischen den Sektoren können den Biokraftstoffsektor, sofern er als einziger Sektor geregelt ist, unter- oder überbewerten, je nach Fallkonstellation. Man könnte an dieser Stelle argumentieren, **dass aufgrund der größeren Bedeutung des innerstaatlichen Handels der Einfluss des Welt-Agrarhandels gering ist. Dies dürfte in vielen Fällen zutreffend sein**, aber nicht

[14] Die Faktoren sind der Literatur entnommen worden. Sie sind nicht nach dem Heizwert, sondern nach Substitution ermittelt worden, was für die obige Berechnung sinnvoll erscheint. Die Faktoren können für unterschiedliche Regionen geringfügig anders ausfallen.

immer. Daher wird empfohlen, die Fallkonstellation über Kontrollfragen zu prüfen und, wenn notwendig, die Berechnung zu ergänzen.

In **Formel 7** kann hierfür ein Ergänzungsterm eingeführt werden, der die zusätzlichen iLUC-Effekte erfasst, die über den internationalen Handel mit Biokraftstoffen in der Region induziert werden. Dieser Term ist aber nur dann zu ermitteln, wenn – wie ausgeführt – nach Abprüfung von definierten Kontrollfragen gezeigt werden kann, dass dieser zusätzliche Effekt für die Region im Betrachtungszeitraum für Biokraftstoffe tatsächlich eine gewisse Relevanz hatte (s.u.).

Es wird zunächst gefragt, ob sich die Importe reduziert haben. Anschließend wird die Exportsituation geprüft. Wenn dabei im betreffenden Land im Betrachtungszeitraum $\Delta \mathbf{Agr}^{R}_{im} < 0$ ist und der absolute Betrag der Abnahme der Agrarimporte größer ist als der oder gleich dem Betrag (absolut) der Zunahme der Agrarexporte ist, also

$$|\Delta \mathbf{Agr}_{im}| \geq |\Delta \mathbf{Agr}_{ex}|,$$

dann ist eine Sonderprüfung über die Einflüsse des Weltmarktes im Biokraftstoffbereich erforderlich, und auf dieser Basis ist dann der regionale iLUC-Effekt um einen internationalen iLUC-Effekt zu ergänzen, wenn die konkrete Berechnung einen relevanten Zusatzeffekt ergibt.

Der internationale Effekt kann dann eine maximale Größe annehmen, wenn alle Landnutzungsänderungen, die **nicht** durch die Mehrproduktion von Biokraftstoffen im eigenen Land verursacht sind, vollständig durch verknappte Importe aufgrund von Mehrproduktion von Biokraftstoffen in anderen Ländern bewirkt wurden.

Die EE-Richtlinie der EU richtet sich hauptsächlich an die Länder mit hohem Biokraftstoff-export nach Europa. Diese Länder sind, wenn man sie im Einzelnen betrachtet, ausnahmslos große Agrarnationen, deren Ökonomie stark vom Agrarsektor geprägt wird. In diesen Ländern spielen Importe eine eher geringe Rolle. Somit ist in der Regel der Treiber von iLUC in diesen Ländern der Export. Und der hierüber erzeugte Druck nach Vergrößerung der Agrarflächen wird „regionsintern" erzeugt, ausgetragen bzw. umgesetzt und wird über das hier entwickelte Modell in der Regel auch für die einzelnen Agrarsektoren vollständig erfasst. Aber da die oben beschriebene Zielsetzung ist, die Emissionen aus iLUC für den Biokraftstoffsektor immer vollständig zu erfassen, **muss für die Einzelfälle, wo ein länderübergreifender Effekt von Bedeutung ist, dieser auch erfasst werden**.

5.3 Anwendung des Modell auf Fallbeispiele (bei regionaler Allokation, s.o.)

Im Folgenden wird bewusst kein konkretes Land berechnet, sondern es werden unterschiedliche Modellregionen betrachtet. Dabei werden verschiedene Fallbeispiele der Landnutzungsänderung durchgespielt, um die jeweiligen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung zu untersuchen.

Der Anteil von dLUC wird für diese Berechnung pauschal mit 30 Prozent unterstellt, da die Höhe seines Anteils für die hier durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen nicht relevant ist. Die Kohlenstoffbestände in den Flächen wurden konservativ ermittelt (Anhang A). Tabelle 9 nach [49] zeigt, dass die im Folgenden unterstellten Landnutzungsänderungen nicht unrealistisch hoch gewählt wurden.

Tabelle 9: Länder mit den höchsten Waldverlusten weltweit [49]

Land	LUC, 1995 – 2007 in Mio. ha/a	LUC, Waldverluste 1995 – 2001 % / a	LUC, Waldverluste 2001 – 2007 % / a
Brasilien	- 2,9	-0,55%	-0,65%
Indonesien	- 1,9	-1,84%	-2,07%
Sudan	- 0,6	-0,82%	-0,86%
Burma	- 0,5	-1,31%	-1,43%
Sambia	- 0,4	-0,98%	-1,04%
Tansania	- 0,4	-1,08%	-1,04%
Nigeria	- 0,4	-2,94%	-3,56%
Kongo	- 0,4	-0,36%	-0,24%
Zimbabwe	- 0,3	-1,59%	-1,75%
Mexiko	- 0,3	-0,50%	-0,40%
Venezuela	- 0,3	-0,58%	-0,60%
Bolivien	- 0,3	-0,45%	-0,46%
Australien	- 0,2	-0,18%	-0,12%

5.3.1 Fallbeispiel A - Mittelgroßes tropisches Land / Palmöl

Das Fallbeispiel A beschreibt ein mittelgroßes tropisches Land, welches Palmöl gewinnt und sich in unterschiedlichem Umfang (Variante A1 bis A4) im Schutz gegen Regenwaldabholzung engagiert. Man erkennt, wie sich dieses Engagement deutlich in den iLUC-Ergebnissen widerspiegelt (Lenkungswirkung des Modells: sehr gut).

Tabelle 10: Fallbeispiel A: Mittelgroßes tropisches Land / Palmöl

Case A	Medium sized country, 30Prozent of tropical forest	Relevant Input Figures (GE = Getreideeinheit = grain unit)			ILUC in g CO_{2eq}/MJ
A 1	Palm oil diesel fuel: In the reference year rainforest is converted at today's common level of 0.5Prozent for the production of agricultural product x, which has formerly been produced on other areas. Biofuel industry is a key driver for this development.	LUC^R	=	75 000 ha	**37**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{Sa}	=	130 Mg C	
		Δ Agr	=	8 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	3,5 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	3,05 E+11 MJ	
A 2	Palm oil diesel fuel: In the reference year rainforest is converted at today's common level of 0.05Prozent for the production of agricultural product x, which has formerly been produced on other areas. Biofuel industry is a key driver for this development.	LUC^R	=	7 500 ha	**3,7**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{Sa}	=	130 Mg C	
		Δ Agr	=	8 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	3,5 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	3,05 E+11 MJ	
A 3	Palm oil diesel fuel: In the reference year rainforest is converted at today's common level of 0.01Prozent for the production of agricultural product x, which has formerly been produced on other areas. Biofuel industry is a key driver for this development.	LUC^R	=	1 500 ha	**0,7**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{Sa}	=	130 Mg C	
		Δ Agr	=	8 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	3,5 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	3,05 E+11 MJ	
A 4	Palm oil diesel fuel: In the reference year rainforest is converted at today's common level of 0.1Prozent for the production of agricultural product x, which has formerly been produced on other areas. Biofuels industry shows much less increase, as it is not the key driver of this development.	LUC^R	=	15 000 ha	**0,4**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{Sa}	=	130 Mg C	
		Δ Agr	=	8 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	0,1 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	1,57 E+11 MJ	

5.3.2 Fallbeispiel B – Großes tropisches Land / Soja & Zuckerrohr

Tabelle 11: Fallbeispiele B – Large tropical country, soy & sugar cane

Case B	Large tropical country, 35Prozent of the land is tropical forest	Relevant Input Figures (GE = Getreideeinheit = grain unit)			ILUC in g CO_{2eq}/MJ
B 1	Worst case bioethanol: In the reference year 0.17Prozent of rainforest is converted. Livestock farming is replaced by sugar cane cultivation. Bioethanol production is a major reason for this.	LUC^{R}	=	714 000 ha	**159**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{GLtrop}	=	75 Mg C	
		Δ Agr	=	150 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	29 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	4,23 E+11 MJ	
B 2	Bioethanol: In the reference year 0.17Prozent of rainforest is converted. Livestock farming is replaced by sugar cane cultivation. Bioethanol production is not a major reason for this.	LUC^{R}	=	714 000 ha	**22**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{GLtrop}	=	75 Mg C	
		Δ Agr	=	150 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	3,5 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	3,76 E+11 MJ	
B 3	Soybean oil diesel fuel: In the reference year 0.17Prozent rainforest is converted to grassland. Pasture is replaced by soybean cultivation. Soybean oil-diesel shows no big increase.	LUC^{R}	=	714 000 ha	**44**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{GLtrop}	=	75 Mg C	
		Δ Agr	=	150 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	3,1 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	2,81 E+10 MJ	
B 4	Soybean oil diesel fuel: In the reference year 0.17Prozent rainforest is converted to grassland. Pasture is replaced by soybean cultivation. Soybean oil-diesel shows a large increase.	LUC^{R}	=	714 000 ha	**39**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{GLtrop}	=	75 Mg C	
		Δ Agr	=	150 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	78 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	7,98 E+11 MJ	
B 5	Worst Case soybean oil diesel fuel: In the reference year 0.60Prozent rainforest is converted to grassland. Pasture is replaced by soybean cultivation. Soybean oil-diesel shows a large increase.	LUC^{R}	=	2 520 000 ha	**136**
		CS^{RF}	=	265 Mg C	
		CS^{Sa}	=	75 Mg C	
		Δ Agr	=	150 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	78 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	7,98 E+11 MJ	

Das Fallbeispiel B beschreibt die Verhältnisse in einem großen tropischen Land, in dem Soja und Zuckerrohr für die Biokraftstoffherstellung angebaut werden. In den Varianten B1 bis B5 werden heute übliche Landnutzungsänderungen (vgl. Tabelle 9) unterstellt. Die regionalen iLUC-Ergebnisse in Tabelle 11 fallen sehr hoch aus. In Europa würden Biokraftstoffe aus diesem Land ohne eine verstärkte Anstrengung zum Regenwaldschutz keine große Marktchance haben.

5.3.3 Fallbeispiel C – Land in gemäßigter Klimazone / Getreide & Raps

Das Rechenmodell erlaubt die iLUC-Bestimmung für unterschiedliche Biokraftstoffarten.

Tabelle 12: Fallbeispiele C – Land im gemäßigter Klimazone / Getreide & Raps

Case C	Land in moderate climate zone	Relevant Input Figures (GE = Getreideeinheit = grain unit)			ILUC in g CO_{2eq}/MJ
C 1	Bioethanol: 0.01Prozent of the forest is converted to the benefit of arable land. Grain farming has a share in producing bioethanol.	LUC^R	=	1 000 ha	**1,8**
		CS^F	=	130 Mg C	
		CS^{Cl}	=	45 Mg C	
		Δ Agr	=	3 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	0,6 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	1,71 E+10 MJ	
C 2	Bioethanol: Low surface portion is converted from grassland to arable land. Grain farming has a share in producing bioethanol.	LUC^R	=	1 000 ha	**0,5**
		CS^F	=	70 Mg C	
		CS^{Cl}	=	45 Mg C	
		Δ Agr	=	3 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	0,6 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	1,71 E+10 MJ	
C 3	Bioethanol: Higher surface portion is converted from grassland to arable land. Grain farming has a share in producing bioethanol.	LUC^R	=	25 000 ha	**13,0**
		CS^F	=	70 Mg C	
		CS^{Cl}	=	45 Mg C	
		Δ Agr	=	3 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	0,6 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	1,71 E+10 MJ	
C 4	Rapeseed oil Biodiesel: Large areas of grassland are converted into arable land. Rapeseed for bioethanol extraction is the key driver.	LUC^R	=	60 000 ha	**1,9**
		CS^F	=	70 Mg C	
		CS^{Cl}	=	45 Mg C	
		Δ Agr	=	3 Mio. Mg GE	
		Δ Agr_{fuel}	=	0,6 Mio. Mg GE	
		$Agr_{fuel, Energie}$	=	1,72 E+11 MJ	

Das Fallbeispiel C beschreibt die Verhältnisse in einem Land der gemäßigten Klimazone. In den Varianten C1 bis C4 wird unterstellt, dass es eine funktionierende Flächenplanung und einen klar geregelten gesetzlichen Waldschutz gibt. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst sehr niedrige, rechtlich eigentlich nicht zulässige indirekt bewirkte Waldumwandlungsraten noch einen relevanten Zahlenwert für iLUC ergeben würden. Die Empfindlichkeit des Modells ist daher gut. Weiter zeigt sich, dass die Umwandlung von Gras- in Ackerland, die in diesen Fallbeispielen als möglich unterstellt wird, einen leichten Anstieg des iLUC-Wertes zur Folge hat. Hintergrund sind die in der Regel vergleichsweise geringen Kohlenstoff-Unterschiede zwischen Grasland und Ackerland in gemäßigten Breiten. Eine Expansion des Biokraftstoffsektors zu Lasten der Grünlandwirtschaft hätte allerdings deutlich negative Werte zur Folge.

5.3.4 Fazit Anwendung auf Fallbeispiele

Insgesamt zeigt sich, dass in den Ländern mit den heutigen hohen Abholzungsraten an Regenwäldern hohe iLUC-Werte eintreten. Für die Länder, die sich um den Schutz von Wäldern und sonstigen kohlenstoffreichen Naturflächen bemühen, treten niedrige iLUC-Werte auf.

Die Lenkungswirkung des Modells in Richtung iLUC-Bekämpfung ist daher gegeben.

Weiter zeigen die berechneten Fallbeispiele, dass das Modell empfindlich genug ist, um in einem gegebenen Zeitfenster auch kleine iLUC-Effekte, die beispielsweise in Mitteleuropa beim Umbruch von Grünland zu Acker auftreten können, zu erfassen.

Schließlich ist an den obigen Ergebnissen interessant, dass der regional verursachte iLUC-Effekt, der im Modell hauptsächlich auf den innerstaatlichen Handel zurückzuführen sein dürfte, für die Länder mit hohen Waldrodungsraten auch hoch ausfällt. In diese Ergebnisse ist noch nicht die Möglichkeit eingeflossen, über eine Einzelfallprüfung mögliche zwischenstaatlich verursachte iLUC-Effekte mit einzubeziehen. In den Fällen, in denen dieser zwischenstaatliche Effekt im betrachteten Land relevant war, werden die iLUC-Werte weiter ansteigen.

Die Berechnungen zeigen, dass die Ermittlung der iLUC-Effekte aus den regionalen Daten in der Regel ausreichend sein dürfte.

5.4 Kritik am vorgeschlagenen Berechnungsmodell

Das hier dargestellte Berechnungsmodell liefert reproduzierbare Ergebnisse, ist transparent in seinem Berechnungsgang und lenkt dergestalt, dass „good governance" bezogen auf die

Flächennutzungsproblematik auch zu guten Ergebnissen führt. Nun darf man auf der anderen Seite nicht übersehen, dass es insbesondere die Vereinfachungen beispielsweise im Berechnungsschritt 3 sind, die dem Modell eine ausreichende Transparenz verleihen.

Für die rechtliche Praxis ist es zulässig, dass Modelle Fehlerbreiten haben. Es ist auch zulässig, dass Modelle am Rand ihres „Anwendungsfensters" (domain of application) fehlerhaft werden. Entscheidend ist, dass sie den Nachweis erbringen, in der Tendenz richtige, plausible und im Falle von Lenkungswirkungen „gerechte" sowie wissenschaftlich belastbare Ergebnisse zu produzieren.

Insgesamt sind eine **Reihe von Details** des Modells kritisch zu kommentieren:

- **Kohlenstoffgehalt in Vegetation und Böden**

Die Ermittlung des Kohlenstoffgehaltes in Vegetation und Böden kann nur näherungsweise erfolgen (vgl. Anhang A). Die Bodentypen etc. variieren in den betrachteten Regionen. Daher wird im Modell auch eine Näherung in drei Stufen empfohlen, je nachdem, welche Genauigkeit erforderlich erscheint. Dennoch verbleibt eine unbefriedigende Gesamtsituation. Allerdings gilt diese Kritik in gleichem, teils auch in stärkerem Maß für alle anderen Modelle, die in der Diskussion sind. Alle Modelle gehen in vergleichbarer Weise mit diesem Problem um. Häufig wird sogar nur mit sehr pauschalen Faktoren gearbeitet.

Das Modell kann natürlich durch eine differenziertere Erfassung der Kohlenstoffbestände in der Region verbessert werden. Diese Option zeigt, welche Vorteile ein regionaler Ansatz bieten würde.

- **iLUC-Effekte zwischen Ländern**

Zur Erfassung von iLUC-Effekten zwischen Ländern – die für die großen Biokraftstoffexportländer eher von geringer Bedeutung sind – wird eine Einzelfallbetrachtung über einen Ergänzungsterm vorgeschlagen. Es wird im Modell durch Kontrollfragen also zunächst abgeprüft, ob derartige Effekte im Betrachtungszeitraum überhaupt von Bedeutung waren. Ist dies zu bejahen, ist das im Modell ermittelte iLUC-Ergebnis um einen definierten Faktor zu erhöhen. Dieser Faktor leitet sich aus einer Nebenrechnung ab, die die relevanten Im- und Exportzahlen einbezieht. Diese Einzelfallbetrachtung arbeitet mit unsicheren Zusammenhängen und Zahlen. Daher bewegt sich diese Berechnung in einem vergleichbar spekulativen Umfeld, wie die oben kritisierten Agrarmodelle. Weiter erfassen die hier empfohlenen Kontrollfragen und Nebenrechnungen nicht Effekte, die zeitlich vermittelt über einen längeren Zeitraum stattfinden – also Effekte, wo Ursache und Wirkung mehrere Jahre auseinander liegen. Dies wird sicherlich kritisiert werden. Man muss aber bei dieser Kritik einbeziehen, wie schwierig und letztlich wie spekulativ eine Modellierung ausfallen würde, die diese Effekte mit erfasst. Und weiter ist zu hinterfragen, ob diese Efffekte eine große Relevanz haben werden.

- **Spielraum für Ertragssteigerungen**

In der Regel wird bei steigenden Marktpreisen durch verstärkte Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten wie Biokraftstoffen von Seiten der Akteure eher zu erwarten sein, dass in die Erhöhung der Erträge (Intensivierung) als in Landgewinn investiert wird (s.o.). Dies ist auch deshalb zu erwarten, weil in den bedeutenden Biokraftstoffexport-Ländern die Intensität der Produktion eher niedrig ist, es dort also noch erheblichen Spielraum für Ertragssteigerungen gibt. Derartige Effekte werden im Modell nicht direkt, sondern **indirekt** erfasst, weil die realen Länderdaten für die jeweilige Berechnung herangezogen werden. Diese Länderdaten zu LUC wären in der Region im Betrachtungszeitraum höher ausgefallen, wenn die ermittelte erhöhte Agrarproduktion nicht anteilig auch über eine verbesserte Ertragslage erreicht worden wäre, so die Annahme des Modells. Ähnliches gilt für das Ausweichen auf bisher ungenutzte landwirtschaftliche Flächen. Auch diese Effekte werden indirekt erfasst.

- **Korrekturfaktoren**

Die Erfassung von Kuppelprodukten, die in andere landwirtschaftliche Sektoren gehen, mittels Korrekturfaktoren stellt einen vereinfachten Rechengang dar. Die Ermittlung der Korrekturfaktoren über die Allokationsmethode kann kritisiert werden. Allerdings könnte durch die Korrekturfaktoren anlagenscharf die Effizienzbemühungen einzelner Akteure erfasst werden[15]. Dies hätte von der Lenkungswirkung her große Vorteile. Man könnte das Modell erweitern und bei der Ermittlung der Treibhausgasbilanz von Biokraftstoffen beispielsweise den Einzelfall eines geminderten „iLUC-Faktors" ermöglichen, wenn ein Anlagenbetreiber im Rahmen der Biokraftstoffkonversion beispielsweise eine besonders hochwertige landwirtschaftliche Verwertung der Kuppelprodukte durchführt.

- **Grenzüberschreitende Produktionskette**

Für einzelne Biokraftstoffrohstoffe wie Soja findet die Konversion zu Biokraftstoffen teilweise oder sogar größtenteils nicht im Erzeugerland statt. Um das Modell für diese Fallkonstellationen dennoch nutzen zu können, ist es erforderlich, Abschätzungen vorzunehmen, wie hoch die im Ausland aus den landwirtschaftlichen Ausgangsprodukten hergestellte Biokraftstoffmenge ist. Für diese Abschätzungen sind zwar Zahlenwerte erhältlich, diese sind allerdings zum Teil mit großen Ungenauigkeiten behaftet.

Sicherlich wäre es möglich, die dargestellten Kritikpunkte durch Weiterentwicklungen abzumindern. Weiter würde auch die Qualität der Eingangsdaten erhöht werden können, wenn ein regionales Modell verrechtlicht würde.

[15] Beispielsweise für den Fall, dass die Allokation auf einzelbetrieblicher Ebene gewählt würde.

5.5 Fazit „Regionales Modell"

Insgesamt kann trotz der dargestellten Kritik und Einschränkungen festgestellt werden, dass das hier vorgestellte Modell sich bereits jetzt im Grundsatz eignen würde, die regionalen iLUC-Effekte zu erfassen und einen „regionalen iLUC-Faktor" zu ermitteln.

In diesem Kapitel wurden keine Modellberechnungen für andere Optionen zu Allokation der iLUC-Emissionen (vgl. Kap. 5.2.5) durchgeführt. Es sind aber keine Gründe erkennbar, weshalb eine Verteilung der oben dargestellten regionalen Ergebnisse auf einzelbetrieblicher Ebene nicht gelingen kann.

6 Unterschiedliche Optionen zur Bekämpfung von indirect Land Use Change [iLUC]

Prognos und das Öko-Institut weisen in einer Studie [50] im Auftrag des WWF darauf hin, dass die Bioenergie für den Klimaschutz bis 2050 eine herausragende Rolle zu spielen hat. Für Deutschland wird in dieser Studie eine Reduktion der Treibhausgase um ca. **95 Prozent gegenüber dem Emissionsniveau von 1990 (ca. 18 Mg CO_{2eq}/E*a) für notwendig erachtet**. Dies heißt, dass im Jahr 2050 weniger als eine Tonne Treibhausgase pro Kopf emittiert werden dürfen (derzeit immer noch rund 10 Mg CO_{2eq}/[E*a]). Nur über ein ambitioniertes Ziel, so die Autoren, kann Deutschland seinen Klimaschutzbeitrag leisten, damit international das sogenannte Zwei-Grad-Ziel auch umgesetzt werden kann.

Bezüglich des Einsatzes von Biokraftstoffen stellen Prognos/Öko-Institut fest [50]: „Die massiven Emissionsreduktionen erfordern eine strategische Neubewertung des Umgangs mit knappen Ressourcen für eine Reihe wichtiger Klimaschutzoptionen. Der Einsatz von Biomasse muss sich neben den verfügbaren Mengen im nationalen, europäischen und internationalen Raum und der Forderung nach einem möglichst effizienten Einsatz auch an der Frage ausrichten, wo der Biomasseeinsatz auch langfristig ohne Alternative ist." Daher halten die Autoren, wie Tabelle 13 zeigt, den Einsatz von Biomasse im Mobilitätssektor (Biokraftstoffe) für prioritär.

Tabelle 13: Bilanz des Biomassebedarf für Deutschland für unterschiedliche Szenarien, nach [50]

		Referenzszenario			
PJ	**2005**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	184	188	189	188
Biokraftstoffe	77	193	268	321	340
Biogas	0	7	16	11	5
Stromerzeugung Biomasse	136	486	468	432	415
Primärenergie	**414**	**908**	**1.042**	**1.092**	**1.089**
		Innovationsszenario			
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	189	171	122	66
Biokraftstoffe	77	318	708	867	987
Biogas	0	7	16	11	5
Stromerzeugung Biomasse	136	486	444	394	379
Primärenergie	**414**	**1.097**	**1.608**	**1.675**	**1.720**
		Modell Deutschland			
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	189	171	122	66
Biokraftstoffe	77	318	850	1.136	1.283
evtl. zusätzliche Biokraftstoffeinsparung		-107	-246	-326	-391
Biogas	0	7	232	389	443
Stromerzeugung Biomasse	136	486	444	394	379
Primärenergie (mit zusätzlicher Biokraftstoffeinsparung)	**414**	**958**	**1.761**	**2.099**	**2.161**
Primärenergie (ohne zusätzliche Biokraftstoffeinsparung)	**414**	**1.097**	**2.099**	**2.529**	**2.664**
Nationales Biomassepotenzial 2050 (Grobabschätzung)					**1.200**

Quelle: Prognos und Öko-Institut 2009

Um sich den skizzierten Herausforderungen der Klimaschutzpolitik stellen zu können, ist es aus Sicht des Autors dieser Studie erforderlich, wirksame[16] Instrumente zu finden, die verhindern, dass eine weitere Expansion des Energiepflanzenanbaus (bzw. der Biokraftstoffgewinnung) zu Lasten des Naturschutzes und kohlenstoffreicher Landflächen geht.

Welche Instrumente bzw. politischen Handlungsoptionen bestehen, um die zukünftig notwendigen Entwicklungen auf dem Biokraftstoffsektor ohne negative Nebeneffekte wie iLUC durchführen zu können? Für diese Analyse wird auf die von Paul Hodson für die EU-Kommission zusammengestellten Handlungsmöglichkeiten zurückgegriffen [51].

Es ist nach Auffassung des Autors dieser Studie wichtig, zwischen Instrumenten, die das iLUC-Problem tatsächlich bekämpfen bzw. lösen und solchen, die nur zu Teil- bzw. Übergangslösungen führen, zu differenzieren.

[16] Die Wirksamkeit eines Instrumentes wird hauptsächlich durch seine Lenkungswirkung zu bewerten sein.

6.1 Problemlösungen an der Wurzel

Es sind verschiedene Problemlösungen an der Wurzel denkbar. Im Folgenden werden drei Lösungen dargestellt, die Eingang in die europäische Diskussion gefunden haben.

6.1.1 Gleichbehandlung aller Agrarsektoren durch eine umfassende dLUC-Regelung

Zunächst einmal besteht nach Hodson [51] die Möglichkeit, die Anforderungen, die aufgrund der EE-Richtlinie für Biokraftstoffe gelten, auch auf die anderen landwirtschaftlichen Sektoren zu übertragen („extend to other commodities .. the restrictions on land use change ...“). Gelänge dies, so würde nicht nur für den Umweltschutz viel erreicht, es würden auch faire Wettbewerbsbedingungen für alle landwirtschaftlichen Sektoren untereinander geschaffen werden. Heute ist die Situation insofern unbefriedigend, als lediglich für den Biokraftstoffsektor hohe Anforderungen bezüglich der direkten Landnutzungsänderung gestellt werden. Würden auch für die anderen Sektoren Regelungen geschaffen, die dLUC reglementieren, würde iLUC in diesen Sektoren dann als dLUC erfasst. Es bestünde keine Notwendigkeit, eine spezielle Regelung für iLUC im Biokraftstoffsektor zu schaffen.

Hinzu kommt, dass in der näheren Zukunft der Bedarf an zusätzlichen Flächen für Nahrungs- und Futtermittel global über dem liegt, was der Biokraftstoffsektor an Flächenbedarf verursachen wird. So wird für das Jahr 2020 ein zusätzlicher Flächenbedarf aus dem Nahrungs- und Futtermittelsektor im Bereich von 190 bis 310 Millionen Hektar prognostiziert [52]. Also sollte der Bereich, der ebenfalls einen relevanten Flächendruck erzeugt, zumindest in gleicher Weise reguliert werden wie der Biokraftstoffsektor, so die Fortsetzung der Überlegungen von Hodson.

Diese Überlegung ist in sich schlüssig und sollte insbesondere von der Umwelt- und Klimaschutzseite massiv unterstützt werden. Es gibt in dieser Logik eigentlich nur ein Argument, sich weiter ausschließlich auf iLUC für den Biokraftstoffsektor zu fokussieren: Es muss bis zur Umsetzung des oben genannten Ziels einer dLUC-Regelung für alle landwirtschaftlichen Sektoren eine Übergangsregelung geben, weil es sicherlich nicht ganz schnell möglich sein wird, Regelungen für Landnutzungsänderungen auch für die anderen Sektoren zu schaffen[17]. Damit wären alle folgenden politischen Handlungsoptionen **„Übergangsregelungen“** bis zum Zeitpunkt einer insgesamt befriedigenden dLUC-Regelung. Diese Regelung könnte, ähnlich wie für das Segment der Biokraftstoffe, von Europa aus beginnen und zunächst für den Binnenmarkt und die wichtigen Importe/Importländer einseitig festgelegt werden. Hiermit würde auch erreicht, dass man auf der Zeitachse bald zu Erfolgen kommen könnte.

[17] Wobei der aufmerksame Beobachter sicher erkennt, dass der regulative Zug genau in diese Richtung fährt. So beispielsweise die Bemühungen zum „carbon footprint“.

Die obigen Ausführungen machen auch eine Schieflage der internationalen Diskussion zu iLUC deutlich. Es wird prioritär die Integration des iLUC-Effekts in die Biokraftstoff-Treibhausgasbilanz gefordert. Zu Recht wird hier von einzelnen Wissenschaftlern eingewandt, dass dieser Effekt per Definition in einem anderen Sektor und nicht im Biokraftstoffsektor eintritt. Die Verantwortung für diese Landnutzungsänderung liegt, folgt man dem im Umweltrecht ansonsten geltendem „Dogma" des Verursacherprinzips, eigentlich beim Akteur, der für einen anderen Sektor Land umbricht. Verursacher für iLUC ist demnach der jeweilige landwirtschaftliche Sektor, der eine Landnutzungsänderung herbeiführt bzw. die Akteure dieses Sektors. Aufgrund der iLUC-Philosophie, den Verursacher im Biokraftstoffsektor zu sehen, würden diese eigentlich „schuldigen" Akteure aus ihrer Verantwortung genommen.

Nun kann man argumentieren, dass der eigentliche Verursacher der Biokraftstoffsektor ist, der durch staatlich verordnete Klimaschutzziele und durch staatliche Subventionen die anderen Sektoren *indirekt* zwingt, Regenwald o.ä. abzuholzen. In anderen vergleichbaren Situationen im Umweltrecht würde man dieses Abweichen vom Verursacherprinzip eigentlich nicht akzeptieren. Es ist nämlich im Umweltschutz gängige Praxis, dass über staatliche Eingriffe einzelne Sektoren oder Akteure zu Lasten anderer gestärkt oder geschwächt werden, um politische Ziele zu erreichen. In diesen Fällen wird nicht akzeptiert, dass sich der betroffene Sektor beispielsweise als Ausgleich für die ihm entstehenden Nachteile an knappen Umweltgütern schadlos halten darf.

Die Schieflage der internationalen Diskussion auf der instrumentellen Ebene besteht nicht nur darin, dass man das Verursacherprinzip verletzt. Man macht darüber hinaus die Integration des iLUC-Effekts in den Biokraftstoffsektor zum Zentrum der politischen Forderungen und übersieht, dass eine „dLUC-Regelung für alle" die eigentlich richtige Lösung wäre (Problemlösung an der Wurzel). Eigentlich müsste es international und national eine intensive instrumentelle Diskussion darüber geben, wie man es möglichst schnell erreicht, dass auch im Bereich der Futtermittel- und Fleischbranche mit einer dLUC-Regelung wie bei den Biokraftstoffen nachgezogen wird, also der Biokraftstoff-Standard eingeführt wird. **Diese Diskussionsbeiträge kann man aber aktuell kaum finden.**

6.1.2 Flächennutzungsplanung

Eine andere Problemlösung an der Wurzel wäre es, wenn zumindest in den wichtigen Agrarexportnationen eine verbindliche Flächennutzungsplanung eingeführt würde. Mit Einführung eines solchen Regimes könnten zunächst Flächenkataster nach Nutzungsart (und ggf. auch nach Kohlenstoffbestand) eingerichtet werden. Diese Flächen könnten auf Nutzungsänderungen hin überwacht werden. Weiter müsste dieses Regime um verbindliche gesetzliche Bestimmungen über Nutzungsänderungen ergänzt werden, beispielsweise ein Verbot, Waldflächen zu roden, es sei denn, dass an anderer Stelle eine entsprechende Aufforstung stattfindet (Waldschutzgesetz). Ähnliche Regelungen müssten für den Grünlandsektor bzw.

für sonstige schützenswerte Landschaften geschaffen werden. Das erforderliche Vertrauen in derartige Regelungen kann über eine entsprechend funktionierende staatliche Überwachung und ein internationales Reporting geschaffen werden.

Über eine Flächennutzungsplanung könnte u.U. auch erreicht werden, dass bestimmte besonders wertvolle Flächennutzungen (z.B. Wald) vermehrt werden (netto). Dies könnte mit den internationalen Bemühungen zur Reduzierung von Emissionen durch Aufforstungen kombiniert werden (UN-REDD-Initiative [53]).

6.1.3 Abschließen einer internationale Konvention zum Flächenschutz

Schließlich könnte eine verbindliche Regelung zum Schutz der kohlenstoffreichen Flächen über eine internationale Konvention beschlossen werden. Diese Regelung könnte im Rahmen der UN-REDD[18]-Diskussionen erarbeitet oder in die laufenden Klimaschutzverhandlungen zur Post-Kyoto-Periode integriert werden.

Diese Überlegung ist nicht neu. Vielmehr wird an verschiedenen Stellen an dieser Idee gearbeitet. Natürlich würde eine derartige Konvention nur funktionieren können, wenn sie mit entsprechenden Compliance-Mechanismen und Sanktionen ausgestattet wäre. Damit reihen sich die skeptischen Argumente gegen eine Problemlösung in dieser Form ein in die gesamten Bedenken, ob ein international bindendes Klimaschutzregime gelingt.

6.2 Übergangslösungen

Es sind verschiedene Übergangslösungen in der Diskussion.

6.2.1 No action

Eine mögliche Übergangslösung bestünde darin, keine speziellen Regelungen zur Integration von iLUC in die EE-Richtlinie zu ergreifen. Diese Handlungsoption wäre sicherlich dann zu favorisieren, wenn die EU-Kommission gleichzeitig ankündigen würde, eine Problemlösung an der Wurzel erarbeiten zu wollen. Unterstellt, dass der Zeitplan für dieses Vorhaben überschaubar ist, kann diese Handlungsoption als durchaus diskussionswürdig betrachtet werden. Denn die Einführung einer iLUC-Übergangsregelung ist mit hohem Aufwand verbunden. Wenn beispielsweise angekündigt würde, auch für die anderen Sektoren Nachweise für dLUC zu verlangen und zu reglementieren, wäre für den Regenwaldschutz und den Schutz anderer wertvoller Naturregionen viel mehr erreicht als über eine Übergangslösung im vergleichsweise kleinen Biokraftstoffsektor. Daher könnte man sicherlich damit einverstanden sein, wenn die administrativen und politischen Kräfte auf dieses Ziel einer umfassenden Problemlösung fokussiert würden.

[18] UN REDD: The United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries

Sollte der politische Wille bzw. die Opportunität für dieses Vorgehen nicht gegeben sein, müssten andere Übergangslösungen in Betracht gezogen werden. Im Folgenden wird dargestellt, welche dies sein könnten.

6.2.2 Übergangslösung „Anforderungen nach EE verschärfen"

Man könnte beispielsweise die Anforderungen an die Treibhausgaseinsparung von Biokraftstoffen verschärfen [51]. So könnte man die Mindestanforderungen an die Einsparung von Treibhausgasemissionen in der EE-Richtlinie um einige Prozentpunkte heraufsetzen. Dies hätte zur Konsequenz, dass weniger effektiv produzierte Biokraftstoffe nicht mehr vermarktbar wären. Da aber einer der vermeintlichen Hauptverursacher für nachteilige Landnutzungsänderungen, nämlich Palmölplantagen, mit einer relativ guten Treibhausgasbilanz aufwarten können, würde vielleicht unter Klimaschutzgesichtspunkten insgesamt etwas verbessert, bezogen auf eine Lenkungswirkung in Richtung iLUC-Vermeidung würde mit diesem Vorschlag nicht viel erreicht.

6.2.3 Übergangslösung „Zusätzliche Boni"

Eine weitere Übergangslösung wäre es, den in der EE-Richtlinie vorhandenen Bonus-Ansatz zu verstärken [51]. So könnten zusätzlich zum Bonus für den Anbau von Biokraftstoffen auf Brachland auch Boni für die Gewinnung von Biokraftstoffen aus Abfallbiomasse, durch Intensivierung des Anbaus oder höhere Effizienz bei der Produktion gewährt werden. Der Lenkungseffekt wäre mit dieser Übergangslösung insgesamt allerdings nur begrenzt.

6.2.4 Übergangslösung „Schwarze Liste"

Weiter könnte eine sogenannte „Schwarze Liste" von Regionen oder Ländern angefertigt werden, wo iLUC oder Landnutzungsänderungen in wertvollen Naturregionen oberhalb einer Mindestschwelle festzustellen sind. Biokraftstoffe, die von diesen „Schwarze-Liste-Ländern" kämen, wären in Europa nicht EE-Richtlinien-kompatibel. Diese Vorgehensweise wäre sicherlich pragmatisch als Übergangslösung mit vertretbarem Aufwand umsetzbar und hätte sicherlich auch die erforderliche einschneidende Wirkung, wäre aber wahrscheinlich rechtswidrig bzw. nicht vereinbar mit internationalen Abkommen (WTO).

6.2.5 Übergangslösung „Bilaterale Verträge"

Eine operative Variante zur Bekämpfung von iLUC wäre es, wenn seitens Europa die laufenden Gespräche mit wichtigen Biokraftstoffproduzenten wie Brasilien oder Indonesien dahingehend verdichtet würden, dass man zum Abschluss bilateraler Verträge kommt. In diesen Verträgen könnten Zugeständnisse der Länder erreicht werden, im Land die notwendigen Maßnahmen zur Bekämpfung von Landnutzungsänderungen durchzuführen.

Bilaterale Verträge hätten den Vorteil, dass die Zeiträume für den Erfolg dieser Handlungsoption vergleichsweise kürzer ausfallen könnten als eine umfassende Problemlösung. Weiter besteht die Möglichkeit, Verträge zunächst nur mit einzelnen „gutwilligen" Ländern abzu-

schließen, um darüber den Druck auf die verbleibenden Länder zu erhöhen. Ein weiterer Vorteil dieser Handlungsoption wäre es, dass nicht nur über Biokraftstoffe gesprochen würde. Vielmehr besteht die Möglichkeit, über das Thema Biokraftstoffe zu einer umfassenden Landnutzungsregelung in diesen Ländern zu kommen. Entscheidend für diese Handlungsoption ist das Druckmittel, welches Europa einsetzen kann, um zu bilateralen Verträgen zu kommen. Das wahrscheinlich wirksamste Druckmittel sind Zugangs-beschränkungen für den europäischen Markt. Allerdings müsste diese Handlungsoption WTO-kompatibel gestaltet werden. Hierfür ist es wiederum entscheidend, ob die Erarbeitung eines rechtssicheren regionalen Modells gelingt, um die iLUC-Verhältnisse im jeweiligen Land plausibel darzustellen und zu quantifizieren (s.u.).

6.2.6 Übergangslösung „Einführung eines regionalen iLUC-Faktors"

Ein anderer Ansatz wäre es, für die Länder, aus denen Landnutzungsänderungen, beispiels-weise Regenwaldrodung, bekannt sind, zusätzliche Anforderungen zu stellen [51]. So könnte hierfür die EE-Regelung um einen regionalen iLUC-Faktor ergänzt werden, den die Kommission für Biokraftstoffe aus der jeweiligen Region festlegen könnte. Im Kern könnte für diese Region der Nachweis verlangt werden, dass der Biokraftstoffsektor nicht mitverantwortlich für die Landnutzungsänderung ist. Gelingt dem Land dieser Nachweis nicht, so könnte die Kommission mit Hilfe eines in Europa normierten Rechenmodells aus den Flächennutzungsdaten des jeweiligen Landes einen iLUC-Faktor ermitteln und allen Biokraftstoffen aus dieser Region als adder hinzufügen. Sollte der adder zu einer Überschreitung der EE-Grenzwerte führen, wäre der Biokraftstoff für Europa nicht mehr vermarktbar. Für diesen Vorschlag spricht, dass er im Vorfeld der Kommission ein erhebliches Druckpotenzial gegenüber dem jeweiligen Land in die Hand gibt, Zugeständnisse in der iLUC-Bekämpfung zu erreichen.

Wie in Kapitel 5.2.5 entwickelt, kann die regionale Ermittlung der iLUC-Emissionen in unterschiedlicher Form alloziert werden. So kann eine Zuordnung bis auf die einzelbetrieb-liche Ebene erfolgen. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Optionen sind oben analysiert worden. Für die in diesem Kapitel durchzuführende instrumentelle Betrachtung ist wichtig, dass diese Optionen der EU-Kommission einen Verhandlungsspielraum eröffnen, um auf Einwände reagieren zu können.

6.2.7 Übergangslösung „Einführung eines globalen iLUC-Faktors"

Es könnte auch ein globaler iLUC-Faktor in das europäische Biokraftstoffrecht aufgenommen werden. Die Treibhausgaseinsparungen würden in diesem Verständnis in der EE-Richtlinie um einen globalen adder ergänzt, der den iLUC-Effekt in CO_2-Äquivalenten ausdrückt. Für diese Ergänzung gibt es recht unterschiedliche Vorstellungen und Vorschläge (s.o.). Das zentrale Problem dieses Vorschlags ist, dass der iLUC-Effekt nicht mit einfachen Methoden auf globaler Ebene zu ermitteln ist (s.o.). Der globale iLUC-Faktor müsste über eines der

oben dargestellten Modelle ermittelt werden. In Frage hierfür kämen die agrarökonomischen oder ein deterministisches Modell.

6.2.8 Übergangslösung Einführung eines iLUC-Modells

Schließlich könnte eines der oben genannten Agrarmodelle (ggf. nach weiterer Verbesserung) zur Berechnung von iLUC direkt in die Treibhausgasbilanzierung nach EE-Richtlinie aufgenommen werden.

6.3 Analyse der unterschiedlichen Handlungsoptionen im Vergleich

Im Folgenden wird nun analysiert, wie sich die Vor- und Nachteile der Instrumente bzw. Handlungsoptionen im Vergleich darstellen. Wie dargestellt, hätte die Einführung und Überwachung von verbindlichen dLUC-Regelungen für alle Agrarsektoren die für den Umwelt- und Naturschutz mit Abstand günstigste Wirkung. Gleiches gilt für eine Regelung, die über die regionale Flächennutzungspolitik agiert und hier verbindliche Schutz- und Ausgleichsmechanismen gegen dLUC/iLUC einführt. Die Verabschiedung einer internationalen Konvention zum Schutz wertvoller Kohlenstoffspeicher ist genaugenommen eine operative Variante, um das beschriebene Problem an der Wurzel zu packen. Die verbreitete Kritik, die Verwirklichung dieses Ziels sei nicht sofort oder nur langfristig umsetzbar, ändert nichts an der Richtigkeit und Bedeutung dieses Ziels. Aber das Streben nach einer Problemlösung an der Wurzel sollte nicht als Alternative zur Festlegung von Überganslösungen missverstanden werden. Ganz im Gegenteil wird man aufgrund der langen Zeiträume zur Zielerreichung wahrscheinlich gezwungen sein, parallel Übergangslösungen festzulegen[19].

Aber alle vorgeschlagenen Übergangslösungen sollten auch dahin gehend bewertet werden, welchen Beitrag sie leisten, damit man dem eigentlichen Ziel einer umfassenden Problemlösung einen Schritt näher kommt.

Wenig förderlich aus Sicht des Autors dieser Studie sind Vorschläge, die den politischen Entscheidern den Eindruck vermitteln, das iLUC-Problem sei *insbesondere* ein Biokraftstoff-Problem. Damit wird beim Entscheider die Erwartung geweckt, das iLUC-Problem durch eine politische Entscheidung zum Biokraftstoffsektor in der EE-Richtlinie lösen zu können. Ebenfalls wenig förderlich wären Vorschläge, die aufgrund ihrer wissenschaftlich umstrittenen oder auch sehr dünnen Fundierung die Gefahr des Scheiterns in sich bergen (politisch oder gerichtlich) und damit das politische Risiko beinhalten, dass das hier beschriebene langfristige Ziel diskreditiert wird.

Ein geeigneter Übergangsvorschlag sollte den CO_2-Effekt von iLUC möglichst korrekt erfassen. Die **Reproduzierbarkeit** der Berechnungsergebnisse muss also gewährleistet sein.

[19] Es sei denn, es wird auf EU-Ebene der politische Wille fixiert, alle verfügbaren Kräfte auf eine grundsätzliche Problemlösung des iLUC-Themas zu konzentrieren.

Ein weiteres Kriterium für die Eignung einer Übergangslösung ist deren **Transparenz, nicht nur** in Bezug auf den Berechnungsvorgang selbst, sondern auch in Bezug auf die politischen Folgewirkungen.

Ein entscheidendes Kriterium für die Eignung eines Vorschlags ist dessen umweltpolitische Folgewirkung bzw. seine **Lenkungswirkung**. ILUC muss durch die Übergangslösung effektiv bekämpft werden. Weiter sollte, wenn beispielsweise in einer Region „good governance" bezüglich iLUC stattfindet, sich dies auch in entsprechenden Ergebnissen niederschlagen (und vice versa).

Die Übergangslösung „Verschärfte Anforderungen" und „Boni" sind vor diesem Bewertungshintergrund sicherlich reproduzierbar und transparent, aber in ihrer Lenkungswirkung vergleichsweise begrenzt.

Die Übergangslösung „Schwarze Liste" erfüllt alle drei Kriterien. Die Transparenz ist natürlich nur dann gegeben, wenn es klare Regelungen für die Aufnahme in die Liste gibt. Der Vorschlag hat vielleicht gewisse Mängel was seine Lenkungswirkung anbelangt, da er wenig Verhandlungsspielraum mit den Ländern aufweist, allenfalls nur über die Frage, ob ein Land auf die Liste gesetzt wird oder nicht. Der wesentliche Punkt, der gegen diesen Vorschlag spricht, ist die rechtliche Bewertung seiner Zulässigkeit. Weiter ist an dieser Stelle natürlich auch ein „diplomatischer" Aspekt mit in die Waagschale zu werfen, der die Umgangsformen von Europa mit Entwicklungs- und Schwellenländer berührt.

Die „Bilateralen Verträge" weisen eine ganze Reihe von Vorteilen auf. Insbesondere kann sehr differenziert auf die unterschiedlichen Verhältnisse in den jeweiligen Ländern eingegangen und können auch klare Verabredungen zum Monitoring der Verträge beschlossen werden. Über das Instrument des sogenannten „Remote Sensing" [54] besitzt Europa zudem ein unabhängiges Instrument, um die Einhaltung der Verträge zu überwachen. Von Nachteil ist, dass man zunächst nur jeweils ein Land erfasst und es Länder geben wird, die sich einer bilateralen vertraglichen Regelung mit den unterschiedlichsten Argumenten entziehen werden/wollen.

Der globale iLUC-Faktor hat den Nachteil, dass er über mathematische Agrar-Modelle entwickelt werden muss, deren Ergebnisse sehr stark streuen. Wie dargestellt, hängt dies im Kern mit dem Anspruch zusammen, den globalen iLUC-Effekt abbilden zu wollen bzw. zu müssen. Daher ist die Reproduzierbarkeit und Transparenz der Modelle nicht ausreichend gegeben.

Die gleichen Einwände bestehen auch gegen die Handlungsoption, nicht einen globalen iLUC-Faktor, sondern nur das mathematische Modell zur Bestimmung eines individuellen iLUC-

Wertes in die EE-Richtlinie aufzunehmen. Die gleichen Einwände bestehen auch gegen die Handlungsoption, nicht einen globalen iLUC-Faktor, sondern die Nutzung von agrarökonomischen Modellen zur Berechnung von iLUC rechtlich vorzugeben. In diesem Fall würden beispielsweise die beschriebenen Streubreiten der Ergebnisse ein Problem des Vollzugs der EE-Richtlinie werden. Alternativ hierzu bestünde die Möglichkeit, eines der unterschiedlichen Modelle für die iLUC-Berechnung zu verrechtlichen. Dies würde implizieren, dass das am besten geeignete Modell ausfindig zu machen sei und die Modellauswahl und die hiermit verbundene Diskussion um die Aussagekraft der Modelle im Rahmen des politischen Entscheidungsprozesses zur Modifizierung der EE-Richtlinie stattzufinden hätte.

Deterministische Globalmodelle weisen gegenüber mathematischen agrarökonomischen Modellen zwar Vorteile bezüglich ihrer höheren Transparenz auf. Wichtigster Nachteil ist die vergleichsweise einfache Modellkonstellation für hochkomplexe globale Zusammenhänge.

Gegen den Vorschlag eines globalen iLUC-Faktors oder eines globalen mathematischen Agrarmodells spricht weiter, dass keine differenzierte Lenkung zur Bekämpfung von iLUC möglich ist. Der globale Faktor oder das globale Modell gilt für alle Biokraftstoffe (oder für einzelne Biokraftstoffsorten) auf Zeit weltweit. Dabei ist es unerheblich, ob der Kraftstoff aus einem Gebiet kommt, in dem iLUC durch engagierte politische Entscheidungen erfolgreich bekämpft wird oder nicht. In der Tendenz werden durch einen einheitlichen globalen Faktor zudem Biokraftstoffe bevorteilt, die aus der gegebenen Klimasituation einen hohen Flächenertrag (und damit eine gute Treibhausgasbilanz) aufweisen, und dies sind leider häufig Biokraftstoffe in den Regionen, von denen heute ein größeres iLUC-Risiko ausgeht.

Ein **regionaler iLUC-Faktor** hat hingegen eine differenzierte Lenkungswirkung. Sofern in einer Region die Flächennutzungspolitik zu geringen Landnutzungsänderungen und zum Schutz der kohlenstoffreichen Flächen führt, würde dies erfasst werden können und brächte den regionalen Akteuren auch Vorteile bei der Treibhausgasbilanzierung von Biokraftstoffen. Würde gar eine Flächenpolitik betrieben, die im Ergebnis zu beispielsweise einer Waldvermehrung führt, so könnten sich regional positive iLUC-Werte einstellen.

Für die instrumentelle Analyse von Handlungsmöglichkeiten sollten auch Kombinationsmöglichkeiten betrachtet werden. Interessant erscheint die Kombination der Ermittlung von regionalen iLUC-Faktoren mit der Handlungsmöglichkeit „Bilateraler Vertrag". Über die Kombination dieser Lösungen könnte zunächst die Verhandlung unterstützt werden, weil die Ermittlung der regionalen Verhältnisse die Argumente für den Abschluss eines Vertrages liefert. Sollte das jeweilige Land erkennbar nicht bereit sein, einer einvernehmlichen Lösung zuzustimmen, kann ein regionaler iLUC-Faktor in die Treibhausgasbilanzen der Biokraftstoffe aus dieser Region eingeführt werden. Eine entsprechende Option auf die Festlegung eines regionalen iLUC-Faktors könnte ins EU-Recht in die EE-Richtlinie aufgenommen werden.

Damit würde auch der Verhandlungsdruck für den Abschluss bilateraler Verträge gefördert. Wünschenswert wäre, dass die bilateralen Regelungen nicht nur die iLUC-Effekte aus dem Biokraftstoffsektor, sondern auch die indirekten Landnutzungseffekte der anderen Agrarsektoren adressierten.

7 Fazit

Konsens besteht sicherlich darin, dass zur Bekämpfung von Land Use Change „etwas getan werden muss". **Kein Konsens** besteht gegenwärtig darüber, **was** getan werden **kann**.

Die wichtigste Negativwirkung eines iLUC-Effektes sind erhöhte Treibhausgasemissionen aufgrund des Verlustes an Waldflächen (deforestation). Deforestation wird durch viele Faktoren verursacht. Hierzu zählen ein zunehmender Nahrungsmittelbedarf, gesteigerter Fleischkonsum, aber auch der Bedarf an Energiepflanzen, und als Untermenge der Bedarf an Biokraftstoffen, ergänzt um viele weitere soziale und institutionelle Ursachenketten.

Die politische Schwierigkeit besteht darin, dass eine Hypothese bzw. ein Phänomen zu bekämpfen ist, das über komplexe Verknüpfungen nur indirekt zu Effekten führt und dadurch auch nur schwer wissenschaftlich zu fassen und zu quantifizieren ist (iLUC-Effekt). Dies gilt insbesondere für Modellansätze, die global ausgerichtet sind. Hinzu kommt, dass, wie ausgeführt, der Biokraftstoffsektor aktuell nur einen vergleichsweise kleinen Teilbeitrag des gesamten iLUC-Effekt verursacht. Daher sind aus Sicht des Autors globale iLUC-Faktoren für gesetzliche Lösungen ungeeignet.

Im Gegensatz zu einer globalen Erfassung und Quantifizierung von iLUC ermöglicht der regionale Ansatz aus den vorhandenen Länderstatistiken eine relativ verlässliche Berechnung der iLUC-Effekte durch Biokraftstoffe in dieser Region. Die Ergebnisse sind reproduzierbar und robust, der Rechengang ist transparent und die Lenkungswirkung erlaubt, dass beispielsweise *Good Governance* erfasst und belohnt wird (vice versa). Hinzu kommt, dass für die Ausgestaltung eines regionalen Modells verschiedene Optionen mit unterschiedlicher Lenkungswirkung vorhanden sind, was für die politische Diskussion einen Entscheidungs-spielraum eröffnet. Die Schwächen des hier vorgestellten Modells werden diskutiert und können durch eine weitere Arbeit am Modell gemindert werden. Entscheidend aber ist die politische Analyse der Vorteile eines **regionalen Ansatzes bei der Problemlösung von iLUC**.

Problemlösungen an der Wurzel können, ganz unabhängig von der quantitativen Bedeutung des iLUC-Effektes, durch Ausweitung der Biokraftstoffregelungen aus der EE-Richtlinie auf die anderen Agrarsektoren oder durch verbindliche Einführung von Flächennutzungsplanun-gen und Schutzkonzepten in den wichtigen Agrarländern erreicht werden.

Bilaterale Verträge zwischen der EU und wichtigen Agrarländern wie Brasilien, Indonesien / Malaysia oder Argentinien könnten einen ersten Schritt in die richtige Richtung darstellen und könnten die genannte Problemlösung vorbereiten. Hierbei wäre es zwar im Sinne des Umweltschutzes wünschenswert, dass neben dem Biokraftstoffsektor auch die anderen Agrarsektoren aufgrund ihres höheren Anteils am ILUC-Effekt mit einbezogen werden.
Es ist aber auch vertretbar, zunächst als Übergangslösung nur den Biokraftstoffsektor zu adressieren und anschließend die anderen Sektoren mit einzubeziehen.

Es wird empfohlen, die EE-Richtlinie um eine Option zu ergänzen: Die EU-Kommission sollte in die Lage versetzt werden, bei definierten politischen Randbedingungen gegenüber einem Nationalstaat einen regionalen iLUC-Faktor ermitteln und festsetzen zu können. Zu diesen Randbedingungen zählen insbesondere eine dokumentierte und nachhaltige Weigerung eines Landes, sich mit der EU auf eine bilaterale vertragliche Problemlösung zu verständigen. Eine weitere hilfreiche Randbedingung für die Erhöhung des Verhandlungsdrucks wäre es sicherlich, wenn die Grundstruktur des Modells für die Ermittlung des regionalen iLUC-Faktors ebenfalls rechtlich fixiert werden würde. **Insgesamt wird ein Handlungsmix aus einer mittel- bis langfristig anzustrebenden internationalen Problemlösung und kurzfristigeren Übergangslösungen über unterschiedliche „bilaterale Verträge", unterstützt durch ein regionales iLUC-Modell, empfohlen.**

8 Quellenverzeichnis

1 Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe. Mitteilung der Kommission, Brüssel, den 8.2.2006, KOM(2006) 34 endgültig, {SEK(2006) 142} http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0034:FIN:DE:PDF

2 WGBU: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzungsänderung, Jahresgutachten 2008, Berlin

3 One Hundred Tenth Congress of the United States of America: Energy Independence and Security Act of 2007, beschlossen am 4.1.2007; dort enthalten:
Section 307(d) of the Biomass Research and Development Act of 2000 (7 U.S.C. 8606(d)) is amended — … (3) by adding at the end the following:
"(5) the improvement and development of analytical tools to facilitate the analysis of life-cycle energy and greenhouse gas emissions, including emissions related to direct and indirect land use changes, attributable to all potential biofuel feedstocks and production processes; …"

4 Richtlinie (2009/28/EG) des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF

5 The impact on land use change on greenhouse gas emissions from biofuels and bioliquids. Literature review, July 2010. An in-house review conducted for DG Energy as part of the European Commission's analytical work on indirect land use change http://ec.europa.eu/energy/renewables/consultations/doc/public_consultation_iluc/study_3_land_use_change_literature_review_final_30_7_10.pdf

6 Edwards R., Mulligan D., Marelli L.: Indirect Land Use Change from increased biofuel demand. JRC Scientific and Technical Reports. JRC 59771 http://ec.europa.eu/energy/renewables/consultations/doc/public_consultation_iluc/study_4_iluc_modelling_comparison.pdf

7 Fonseca M. B., Burrell A., Gay H., Henseler M., Kavallari A., M'Barek R., Domínguez I. P., Tonini A.: Impacts of the EU biofuel target on agricultural markets and land use: a comparative modelling assessment, JRC/IPTS. EUR 24449 EN – 2010, © European Union, 2010 http://ec.europa.eu/energy/renewables/consultations/doc/public_consultation_iluc/study_1_jrc_biofuel_target_iluc.pdf

8 Perrihan Al-Riffai (IFPRI), Betina Dimaranan (IFPRI), David Laborde (IFPRI) - ATLASS Consortium: Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate. Final Report, March 2010 http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2010/march/tradoc_145954.pdf

9 PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION PAS 2050: 2008 – Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, p. 9f. http://www.bsigroup.com/upload/Standards%20&%20Publications/Energy/PAS2050.pdf

10 EPA: Lifecycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Renewable Fuels. Office of Transportation and Air Quality, EPA-420-F-09-024, May 2009; Wichtige Ergebnisse: http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420f09024.pdf
Methodische Diskussion: http://www.epa.gov/OMS/renewablefuels/rfs2-peer-review-emissions.pdf

http://www.epa.gov/OMS/renewablefuels/rfs2-peer-review-model.pdf
http://www.epa.gov/OMS/renewablefuels/rfs2-peer-review-land use.pdf

11 u.a. Lapola D. M. et al.: Indirect land use changes can overcome carbon savings from biofuel in Brazil. PNAS Early Edition 1-6, 2009

12 Fehrenbach H., Giegrich J., Reinhardt G., Rettenmaier N.: Synopse zu aktuellen Modellen und Methoden zur indirekten Landnutzungsänderung (iLUC), Heidelberg, Oktober 2009 http://www.bdbe.de/downloads/PDF/fachinformationen/ifeu-Studie_ILUC/IFEU_ILUC_deutsch.pdf

13 Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J. et al.: Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. In: Science 319, 1238–1240, 2008

14 Plevin, R.: Analysis of GHG Emissions from Indirect Land Use Change; Life Cycle Assessment VIII Seattle, WA September 30, 2008

15 Kim H., Kim S., Dale B. E.: Biofuels, Land Use Change, and Greenhouse Gas Emissions: Some Unexplored Variables. Environ. Sci. Technol. 43 (3), 961-967, 2009 http://www.ethanol.org/pdf/contentmgmt/EST_Land_Use_Change_final.pdf

16 Fritsche U. et al: The ILUC factor as a means to hedge risks of GHG emissions from ILUC associated with bioenergy feedstock provision. Oeko Institute, 2008. Und: Fritsche, U.: Accounting for GHG Emissions from Indirect Land Use Change: The iLUC Factor Approach; IEA Bioenergy Task 38 Workshop "Land Use Changes due to Bioenergy - Quantifying and Managing Climate Change and Other Environmental Impacts", Helsinki, 30.-31. März 2009

17 Cornelissen S., Dehue B.: Summary of approaches to accounting for indirect impacts of biofuel production. ECOFYS, 8 October 2009, PEGENL084576 http://energycenter.epfl.ch/webdav/site/cgse/shared/Biofuels/Documents%20and%20Resources/09-10-09_Ecofys%20-%20Summary%20of%20approaches%20to%20accounting%20for%20indirect%20impacts%20of%20biofuel%20production.pdf

18 Dr. Martin Banse (Uni Wageningen), Timothy D. Searchinger (Princeton University), John Sheeham (University of Minnesota), Dr. Michael Wang (Argonne National Laboratory), in: Lifecycle Greenhouse Gas Emissions due to Increased Biofuel Production. Model Linkage Peer Review Report, July 31, 2009, prepared by: ICF International http://www.epa.gov/OMS/renewablefuels/rfs2-peer-review-model.pdf

19 Babcock B. A.: Overview of the CARD/FAPRI Modeling System. Vortrag auf dem CRC Workshop in Life Cycle Analysis of Biofuels. Argonne National Laboratory, 20./21. Oktober 2009. http://www.crcao.org/workshops/LCA%20October%202009/Session%204/4-Babcock,%20Bruce.pdf

20 Croezen H.J., Bergsma G.C., Otten M.B.J., van Valkengoed M.P.J.: Biofuels: Indirect land use change and climate impact. Delft, CE Delft, June 2010 http://www.ce.nl/publicatie/biofuels%3A_indirect_land_use_change_and_climate_impact/1068

21 Plevin R. J., O'Hare M. (Universität von Berkely): Characterizing uncertainty in emissions from biofuel-induced indirect land use change. August 5, 2010, sowie Plevin, R. J., M. O'Hare, A. D. Jones, M. S. Torn and H. K. Gibbs (In review): The greenhouse gas emissions from market-mediated land use change are uncertain, but potentially much greater than previously estimated. Environmental Science & Technology.

22 U.a.: Steven T. Berry auf dem 6. LCFS Workgroup Meeting "Biofuels Policy and the Empirical Inputs to GTAP Models Preliminary" http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/workgroups/ewg/expertworkgroup.htm

23 E4tech 2010: iLUC Study (various papers); London http://www.ilucstudy.com

24 Öko-Institut/IFEU: Nachhaltige Bioenergie: Stand und Ausblick des laufenden F+E-Vorhabens: Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel; im Auftrag des Umweltbundesamts; FKZ 3707 93 100; Darmstadt, Heidelberg 2009 http://www.ifeu.de/nachhaltigkeit/pdf/OEKO_IFEU%20%282009%29%20Bio-global%20deutsch.pdf

25 [24], Einheiten nach Rücksprache mit dem Autor der Studie korrigiert.

26 Fritsche U. R., with contributions from Klaus Hennenberg and Katja Hünecke: The „iLUC Factor" as a Means to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land Use Change. Working Paper, Öko-Institut Darmstadt, July 2010 http://www.oeko.de/oekodoc/1030/2010-082-en.pdf

27 Searchinger, T.: Biofuels and the need for additional carbon; in: Environ. Res. Lett. 5, 2010, 024007, http://iopscience.iop.org/1748-9326/5/2/024007/pdf/1748-9326_5_2_024007.pdf

28 Wallace E. Tyner, Farzad Taheripour, Qianlai Zhuang, Dileep Birur, Uris Baldos: Land Use Changes and Consequent CO_2 Emissions due to US Corn Ethanol Production: A Comprehensive Analysis. Department of Agricultural Economics, Purdue University, FINAL REPORT, revised, July 2010 http://www.transportation.anl.gov/pdfs/MC/625.PDF

29 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use, 2006. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html
Für die Berechnung der EXCEL-Arbeitsblätter:
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_13_An1_Worksheets.pdf

30 Brooke Coleman, Executive Director, New Fuels Alliance Biofuels: Carbon Accounting & RFS 2. US-EPA Workshop on Lifecycle Greenhouse Gas Analysis for the Proposed Revisions to the National Renewable Fuels Standard Program. 10./11.6.2009, Washington, D.C. http://client-ross.com/lifecycle-workshop/docs/4.3_Coleman_NFA_6-10-09pm.pdf

31 Pieprzyk B., Kortlüke N., Hilje P. R.: Auswirkungen fossiler Kraftstoffe. Treibhausgasemissionen, Umweltfolgen und sozioökonomische Effekte. Erstellt im Auftrag vom Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) und Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB), November 2009 http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/studien/2009/091123_era-Studie_Marginal_Oil_Endbericht.pdf

32 Fourth Low Carbon Fuel Standard Expert Workgroup, Sacramento, CA, July 15, 2010, Sub-group 6: Indirect Effects of Other Fuels. http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/workgroups/ewg/071510_indirect_effects_other_fuels.pptx

33 Dale B. E. (Michigan State University): Biofuels, Indirect Land Use Change & Greenhouse Gas Emissions: Some Unexplored Variables (and a call to action!!). Biorefinica 2009, Osnabrueck, Germany, January 28, 2009 http://www.everythingbiomass.org/Portals/EB/ILUC_Unexplored Variables_Biorefinica Jan 09.pdf

34 Popp A. et al.: Food consumption, diet shifts and associated non-CO_2 greenhouse gases from agricultural production. Global Environ. Change (2010), doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.02.001 und http://www.pik-potsdam.de/news/press-releases/conscious-choice-of-food-can-substantially-mitigate-climate-change

35 Kline K. (Oak Ridge National Laboratory): Vortrag auf dem vierten Low Carbon Fuel Standard (LCFS) Expert Workgroup Meeting in Sacramento, Kalifornien, Juli 2010 http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/workgroups/ewg/071510time-acct.ppt

36 Geist H. J., Lambin E. F.: Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience Vol. 52, #2, p. 143-150, 2002, zit. von Bruce E. Dale [33]

37 Lambin E. F., Geist H. J.: The land managers who have lost control of their land use: implications for sustainability. Tropical Ecology 44 (1): 15-24, 2003 http://www.tropecol.com/pdf/open/PDF_44_1/44103.pdf

38 Keith Kline and Gbadebo Oladosu: Using Economic Models to Simulate Land-Use Change for Biofuels Issues for Discussion. Workshop on LUC and GTAP, Purdue University, 26 January 2009

39 Mueller S., Copenhaver K.: Alternative Modeling Considerations to Land Use Change. University of Illinois at Chicago, Energy Resources Center: Presented to: LCFS Expert Working Group, Sacramento, CA, Juli, 2010, hier Folie 11 http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/workgroups/ewg/071510illinois.ppt

40 Lahl U.: Ölwechsel. Rhombos-Verlag, Berlin 2009

41 Schäfer V.: Perspektiven in globalisierten Ölsaaten- und Proteinmärkten (Chartauswahl). Erzeugnisse Agrar, BayWa AG München, 3. CropEnergies Forum „Getreide und Futtermittel". Nürburg, 14.9.2010

42 Indonesien ist seit 2006 vor Malaysia weltweit größter Produzent von rohem Palmöl (CPO = Crude Palm Oil). Die beiden Länder stehen zusammen für rund 85% der globalen Palmölerzeugung. Nach Angaben des Landwirtschaftsministeriums erreichte die lokale CPO-Produktion 2008 rund 19,2 Mio. t. In den ersten drei Quartalen 2009 waren es 19,4 Mio. t. Für 2010 wird eine Erzeugung von 20,9 Mio. t angestrebt, die bis 2014 weiter auf 27,9 Mio. t steigen soll. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate seit 2005 beläuft sich auf 14,5%.

Marktentwicklung für CPO in Indonesien (in t)

Jahr	Produktion	Export	Import	Verbrauch
2005	11.861.615	10.375.792	10.810	1.496.633
2006	17.350.848	10.471.915	1.645	6.880.578
2007	17.664.725	11.875.418	1.067	5.790.374
2008	19.200.000	18.141.004	11.721	1.070.717
2009*)	19.440.000	14.981.467	10.591	4.469.415

*) Januar bis September

Quelle: German Trade and Invest, 2.2.2010, Ergebnis Suchanfrage: Freitext: Palmöl | Land: Indonesien http://www.gtai.de

43 Baffes J., Haniotis T.: Policy Research Working Paper 5371. Placing the 2006/08 Commodity Price Boom into Perspective. The World Bank Development Prospects Group. July 2010, WPS5371 http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/07/21/000158349_20100721110120/Rendered/PDF/WPS5371.pdf

44 Zentrum für Transfomation der Bundeswehr, Dezernat Zukunftsanalyse: Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert – Umweltdimensionen von Sicherheit, Teilstudie 1: PEAK OIL – Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen. Strausberg, Juli 2010 www.peakoil.net/files/German_Peak_Oil.pdf

45 Quelle Daten: www.earth-policy.org/datacenter/xls/book_pb4_ch4-5_32.xls und http://www.mongabay.com/brazil.html

46 RICHTLINIE 2009/30/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:DE:PDF
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:EN:PDF

47 Croezen H., Brouwer F.: Estimating indirect land use impacts from by-products utilization. Report, Delft, June 2008

48 [20], Seite 45: "By-products utilization as feed is not a guaranteed use of by-products, however. In both the USA and the EU certain producers are using or planning to use Distiller Grains as a fuel, either by direct combustion in a boiler or by producing biogas for use as a fuel for heat and power or transportation11. Legislation may be required to stem this development and stimulate more land use-efficient use of biofuels feedstocks."

49 Lywood W.J. (Ensus Ltd, Yarm/UK): Natural vegetation changes resulting from changes in land requirements for increased biofuel production. ILUC-Paper 3, Draft for Discussion, June 2009
http://www.ilucstudy.com/files/2009_nat_veg_Lywood.pdf

50 Prognos GmbH, Öko-Institut e.V.: Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. WWF 2010: http://www.oeko.de/oekodoc/971/2009-003-de.pdf

51 Hodson P.: European Commission work on land use change an biofuels. IPIECA-RSB workshop – Lausanne, 9. November 2009
http://energycenter.epfl.ch/webdav/site/cgse/shared/Biofuels/Regional%20Outreaches%20&%20Meetings/2009/Nov%202009%20iLUC%20Conference/Hodson%20land%20use%20change%20Lausanne%201109.pdf

52 Kampman B., Brouwer F., Schepers B. (CE Delft): Agricultural land availability and demand in 2020. A global analysis of drivers and demand for feedstock, and agricultural land availability. Delft, June 2008
http://www.renewablefuelsagency.gov.uk/sites/rfa/files/_documents/CE_Delft_Agricultural_land_availability_and_demand.pdf

53 The United Nations Collaborative initiative on Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD) in developing countries. http://www.un-redd.org/

54 So über die Satelliten ERS-1 und ERS-2:
http://de.wikipedia.org/wiki/European_Remote_Sensing_Satellite

9 Anhang: Datengrundlagen zur Bestimmung von CS

Tabelle 14: Kohlenstoffbestand (in Vegetation und Boden) für unterschiedliche Landnutzungen, in Mg C/ha (verschiedene Quellen, insbesondere [29])

Landnutzung	**Kohlenstoffbestand „CS"**
„Rain Forest", **Default**	300 Mg C/ha
„Rain Forest", Asien, Boden = 0	205 Mg C/ha
„Rain Forest", Asien, Torfboden	970 Mg C/ha
„Rain Forest", Amazonas	265 Mg C/ha
„Forest", **Default**	150 Mg C/ha
„Forest" Nordamerika	140 Mg C/ha
„Forest" Europa	130 Mg C/ha
Plantage	110 – 130 Mg C/ha
Wetland	100 Mg C/ha
Grassland, **Default**	100 Mg C/ha
„Busch", Afrika	90 Mg C/ha
„Woody Cerrado", Südamerika	75 Mg C/ha
„Grassy Cerrado", Südamerika	65 Mg C/ha
„Savanne" feucht	130 Mg C/ha
„Grassland" tropisch	75 Mg C/ha
„Grassland" gemäßigt	70 Mg C/ha
„Weide" gemäßigt, minimal	40 Mg C/ha
„Cropland" jährliche Ernte, **Default**	55 Mg C/ha
„Cropland" jährliche Ernte, Boden = 40	45 Mg C/ha
„Cropland" jährliche Ernte, minimal	30 Mg C/ha

Sofern es sich um eine besondere Fallkonstellation – weder passen die Default-Werte in obiger Tabelle bzw. treffen nicht zu, noch sind die differenzierteren Angaben in den folgenden Tabellen ausreichend genau – oder um eine größere Landnutzungsänderung handelt, die eine sehr viel detailliertere Ermittlung von CS erforderlich macht, kann auf die Ermittlungsmethodik nach IPCC zurückgegriffen werden [29]. Diese Methodik ist weltweit

anerkannt und mit überschaubarem Aufwand durchzuführen. Auf eine Erläuterung der IPCC-Methodik zur Bestimmung von „**CS**" wird an dieser Stelle verzichtet.

Bei der Ermittlung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen wird unterstellt, dass der Kohlenstoffbestand der ursprünglichen Nutzung 20 Jahre nach Landumbruch vollständig auf das Niveau der aktuellen Nutzung verändert wurde.

Tabelle 15: CS der Vegetation in Mg C / ha (29)

Landnutzung	**CS Vegetation in Mg C/ha**
Tropischer Regenwald	200
Tropischer feuchter sommergrüner Wald	127
Tropischer trockener Wald	103
Tropisches Buschland	46
Tropischer Bergwald	90
Subtropischer feuchter Wald	132
Subtropischer trockener Wald	107
Subtropische Steppe	43
Subtropischer Bergwald	26
Gemäßigt ozeanischer Wald	202
Gemäßigt kontinentaler Wald	52
Gemäßigter Bergwald	64
Boreal, Koniferen	33
Boreal, Tundra	13
Boreal, Bergwald	39
Grassland, boreal, trocken & nass	2
Grassland, kalt, gemäßigt, trocken	3
Grassland, kalt, gemäßigt, nass	5
Grassland, warm, gemäßigt, trocken	2
Grassland, warm, gemäßigt, nass	5
Grassland, tropisch, trocken	3
Grassland, feucht & nass	6
Cropland, jährliche Frucht	0

Die Nutzung von Default-Werten oder Abschätzungen ist nur eine Annäherung an die tatsächliche Situation. Dieser Mangel kann aber nicht zur Ablehnung des hier vorgeschlagenen Modells führen, weil die Verwendung von Mittelwerten bzw. pauschalen Annahmen für CS für alle momentan vorgeschlagenen Modelle gilt und im Kern auch für die heute bereits durchzuführende Ermittlung der Emissionen aus der direkten Landnutzungsänderung nach EE-Richtlinie zu formulieren wäre.

Tabelle 16: CS im mineralischen Boden unterhalb der Vegetation, in Mg C/ha [29]

Klimatische Region	Hoch-aktiver Lehm-boden	Niedrig aktiver Lehm-boden	Sandiger Boden	Podzole	Vulka-nischer Boden	Wetland
Boreal	68		10	117	20	146
Kalt gemäßigt, trocken	50	33	34		20	87
Kalt gemäßigt, feucht	95	85	71	115	139	87
Warm, gemäßigt, trocken	38	24	19		70	88
Warm, gemäßigt, feucht	88	63	34		80	88
Tropisch, trocken	38	35	31		50	86
Tropisch, feucht	65	47	39		70	86
Tropisch nass	44	60	66		130	86
Tropisch, Berg	88	63	34		80	86

Tabelle 17: Emissionsfaktoren für entwässerte organische Böden in C je Hektar und Jahr [29]

Klimatische Zone	Emissionsfaktor in Mg C /ha und a
Wald, Tropen	1,36
Wald, gemäßigt	0,68
Wald, boreal	0,16
Grassland, boreal, kalt, gemäßigt	0,25
Grassland, warm, gemäßigt	2,5
Grassland, tropisch, sub-tropisch	5

Tabelle 18: Errechnung der Landnutzungsänderungswerte für eine Auswahl von Biokraftstoffen der „Default Tabelle" der BioNachV[20]

		Weizen Europa	Mais Nordamerika	Zuckerrohr trop. Lateinamerika	Zuckerrübe Europa	Rapsöl Europa	Sojaöl trop. Lateinamerika	Palmöl Südostasien
Ausgangsnutzung	**t C/ha**	**Grünland**	**Grünland**	**Savanne**	**Grünland**	**Grünland**	**Savanne**	**Regenwald**
C-Speicher ges.	**t C/ha**	**70**	**70**	**134**	**70**	**70**	**134**	**265**
BioM über- und unterirdisch	t C/ha	6,3	6,3	87	6,3	6,3	87	205
Bodenspeicher	t C/ha	63	63	47	63	63	47	60
Nutzung		**Acker**	**Acker**	**Acker**	**Acker**	**Acker**	**Acker**	**Plantage**
C-Speicher ges.	**t C/ha**	**55**	**55**	**55**	**55**	**55**	**55**	**110**
BioM. über- und unterirdisch	t C/ha	5	5	7,5	5	5	5	50
Bodenspeicher	t C/ha	50	50	47,5	50	50	48	60
Änderung [a)]	**t C/ha**	**-15**	**-15**	**-79**	**-15**	**-15**	**-81**	**-155**
Annuierung	A	20	20	20	20	20	20	20
	t C/(ha*a)	0,75	0,75	3,95	0,75	0,75	4,05	7,75
Ergebnis Emission	**t CO_2/(ha*a)**	**2,75**	**2,75**	**14,5**	**2,75**	**2,75**	**14,8**	**28,7**
Spez. Flächenbedarf								
ohne Allokation	ha/GJ	0,0174	0,0131	0,0121	0,0089	0,0200	0,0607	0,0079
mit Allokation	ha/GJ	0,0095	0,0072	0,0107	0,0057	0,0107	0,0168	0,0038
Emissionen bezogen auf Biokraftstoff								
ohne Allokation	kg CO_2-Äq/GJ	**47,8**	**36,1**	**175,5**	**24,5**	**54,9**	**901,1**	**223,9**
mit Allokation [b)]	kg CO_2-Äq/GJ	26,2	19,8	154,7	15,6	32,8	282,4	106,6

a) negative Werte entsprechen einem Verlust an gespeichertem Kohlenstoff
b) Berücksichtigung der Allokation nach dem unteren Heizwert über die Produktionskette bis zum Endprodukt (Ethanol, FSME)

[20] Majer S., Schröder G. (Institut für Energietechnik und Umwelt, Leipzig): Erläuterungspapier zum Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung vom 05.12.2007. Hrsg.: UFOP, 2008 www.ufop.de/downloads/RZ_Erlaeuterung_BioNachV_170108.pdf