

Bioenergie und LCA: Parametrisierung von Landnutzungsänderungen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1 TU Darmstadt, Institute IWAR, Chair of Industrial Material Cycles; 2 KIT, Institute for Technology Assessment and Systems Analysis, Department of Technology-Induced Material Flow; 3 University of Kassel, Center for Environmental Systems Research

UNI KASSEL
VERSITÄT

¹ Y. Cikovani, ^{1,2} L. Schebek, ³ R. Schaldach

CESR



Landnutzung/Landnutzungsänderungen



Direkte Landnutzungsänderungen (dLUC)

- wenn eine Fläche vor dem Anbau von Energiepflanzen durch eine andere Nutzung geprägt war

Indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC)

- wenn auf einer Fläche, die zuvor durch die Kultivierung von Nutzpflanzen für Nahrung, Futter oder Fasern geprägt war, Energiepflanzen angebaut werden. Die Produktion der Nutzpflanzen wird auf eine andere Fläche verdrängt („displacement“)

Biophysikalische Treiber

- Klima, Hydrologie, Boden und Vegetation

Sozioökonomische Treiber

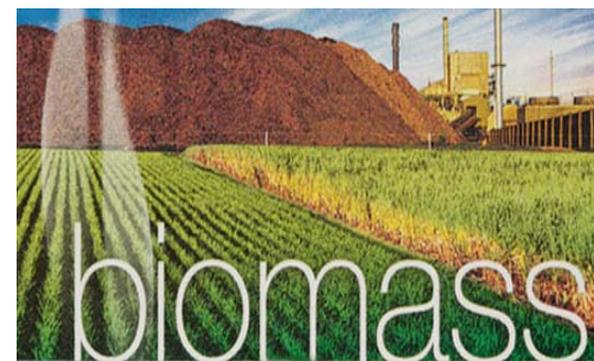
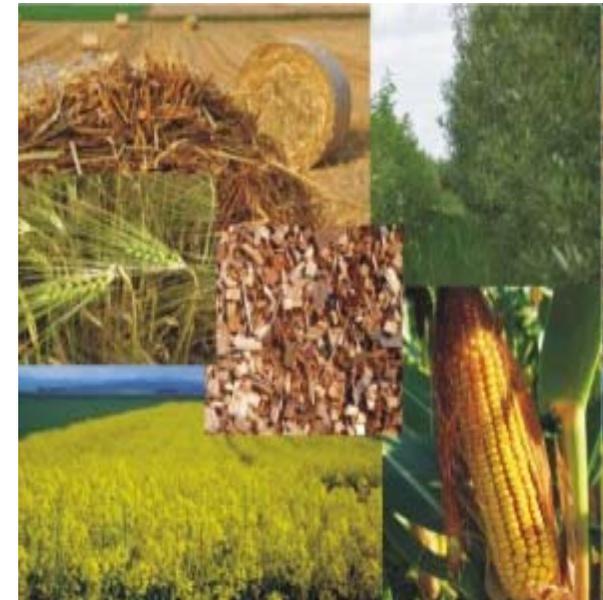
- Anthropogene Einflüsse, z.B. durch die energetische Nutzung von Biomasse

Implementierung von Landnutzungsänderungen durch Bioenergiebereitstellung in LCA



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- LCA berechnet Umweltwirkungen bezogen auf eine Funktionelle Einheit unter der Annahme einer linearen Korrelation
- In Bezug auf Bioenergie kann eine erhöhte Nachfrage zu Landnutzungsänderungen und zusätzlichen Kohlenstoffflüssen führen
- Für eine ganzheitliche Betrachtung müssen diese Aspekte in LCA berücksichtigt werden



Methode

- Ermittlung von Landnutzungsänderungen durch das Landnutzungsmodell **LandSHIFT**
- Berechnung von Kohlenstoffflüssen der jeweiligen Fläche
- Erforschung der Korrelation zwischen Bioenergienachfrage, Landnutzungsänderungen und als Basis zur Integration in LCA

Arbeitsablauf



- 1. Bioenergienachfrage:**
Berechnung des Biomassebedarfs auf Basis von Literaturdaten zum biogenen Endenergiebedarf
- 2. Landbedarf:**
Modellierung der Landnutzungsänderungen mittels LandSHIFT
- 3. Simulationen:**
Exemplarische Werte, welche 20%, 50%, 75%, 100% und 200 % der prognostizierten Biomassenachfrage entsprechen
- 4. Kohlenstoffflüsse:**
Erforschung der Interdependenzen zwischen Bioenergievorgaben und durch Landnutzungsänderungen bedingten Kohlenstoffflüssen

1. Bioenergienachfrage 2020

Fallstudie: Annahmen zur biogenen Endenergie 2020 in Deutschland basierend auf die BMU Studie 2009

Gesamt: 941 PJ biogene Endenergie

Selektierte Bioenergie:

- Bioethanol aus Roggen (25 PJ)
- Biodiesel aus Raps (78 PJ)
- Biogas aus Maissilage (75 PJ)

=> Ausschließliche Bewertung von Biomasse aus landwirtschaftlichem Anbau (keine Bioabfälle) !

2. Landbedarf-Kalkulation durch das Landnutzungsmodell LandSHIFT



LandSHIFT bewertet den Bedarf nach Biomasse für Nahrungsmittel und für Biokraftstoffe, urbane Flächen und Naturschutzgebieten zum Referenzszenario 2000

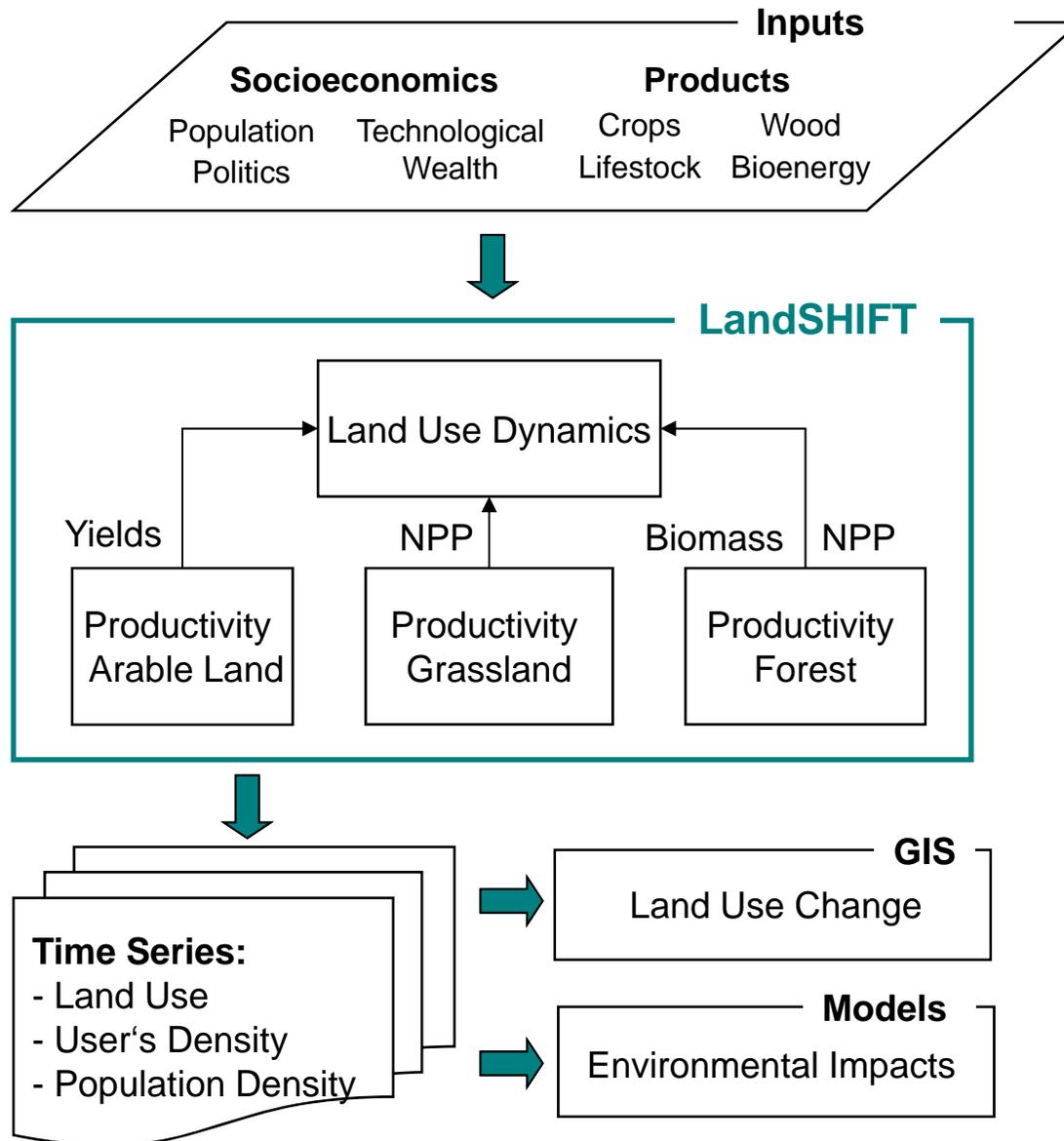
Szenario 2020 “keine Bioenergie”:

- Nahrungspflanzen und Weideland

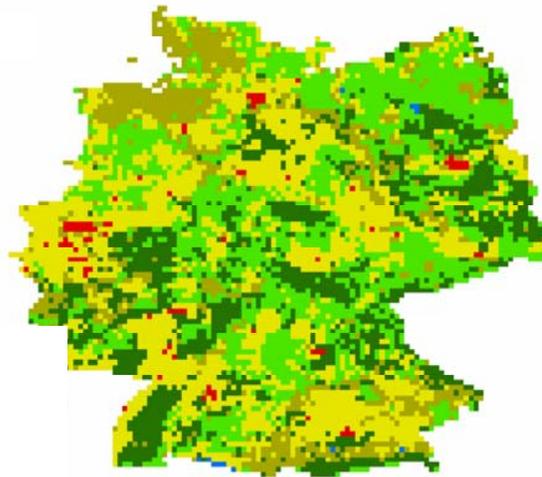
Szenario “2020 mit Bioenergie”

- Nahrungspflanzen und Weideland und Energiepflanzen

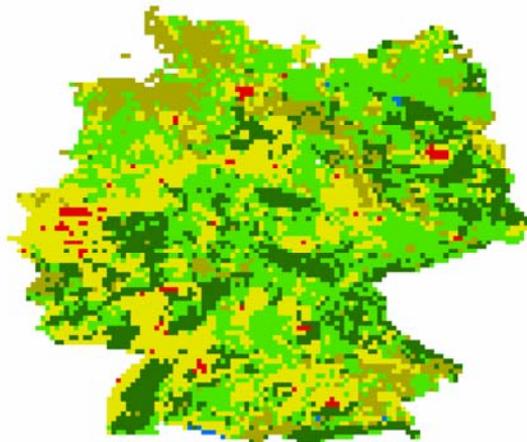
Modellstruktur von LandSHIFT



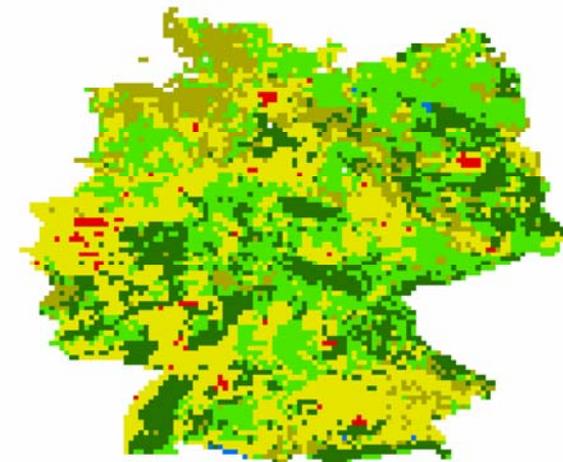
2. Landbedarf- Ergebnisse aus LandSHIFT



2000 keine Bioenergie

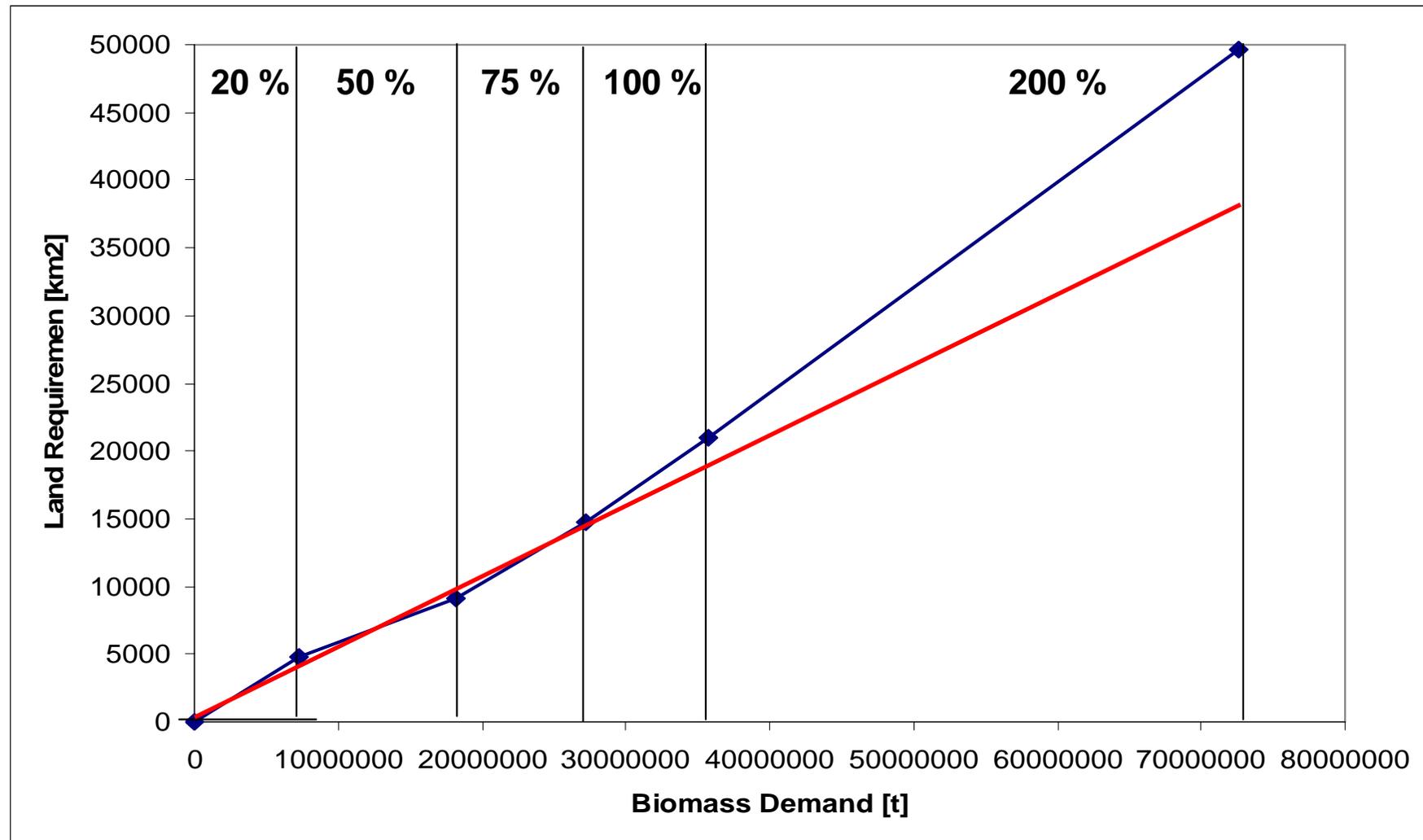


2020 100% Bioenergie



2020 200% Bioenergie

3. Korrelation zwischen Landnutzungsänderungen und Bioenergienachfragen



4. Kalkulation von Kohlenstoffflüssen (I)



Ergebnisse aus LandSHIFT Berechnungen:

- Durch Bevölkerungsrückgang und Effizienzsteigerungen in der Landwirtschaft sinkt zwischen 2000 bis 2020 der Bedarf an landwirtschaftlichen Flächen
- Im 2020 Keine-Bioenergie Szenario, würde die Agrarfläche zu Grünland umgewandelt werden. Dies führt zur Kohlenstoffakkumulation
- Im 2020 Mit-Bioenergie Szenario, würde diese Fläche zum Anbau von Energiepflanzen benötigt. Dies deckt nur 75% des Biomassebedarfs in 2020. Zusätzlich müsste Grünland in Ackerland umfunktioniert werden

4. Kalkulation von Kohlenstoffflüssen (II)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

**Annahme zum Transformationstyp zur Berechnungen
der Kohlenstoffflüsse:**

Grünland



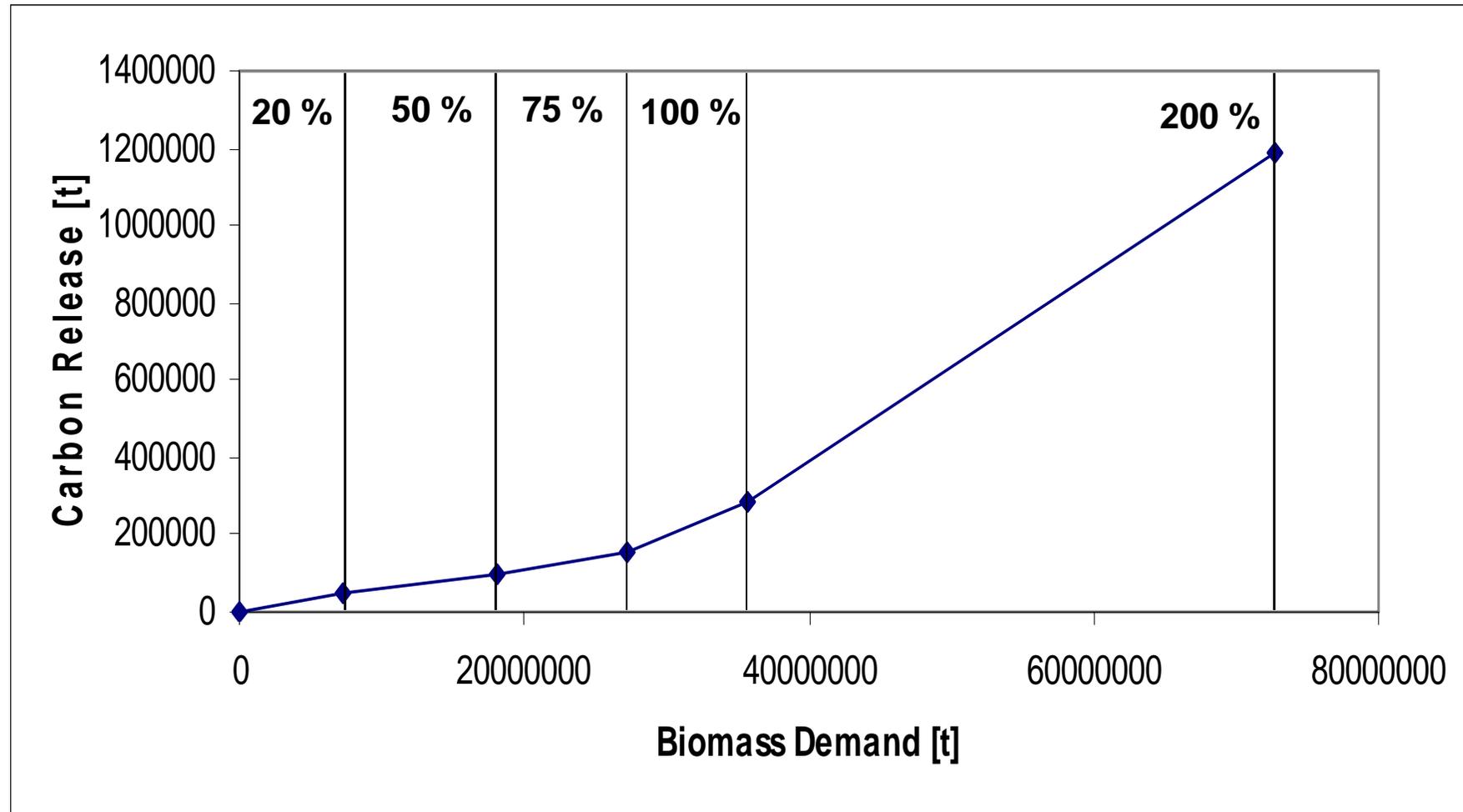
Ackerland

Ackerland



Grünland

4. Korrelation zwischen Kohlenstoffflüssen und der Bioenergienachfrage



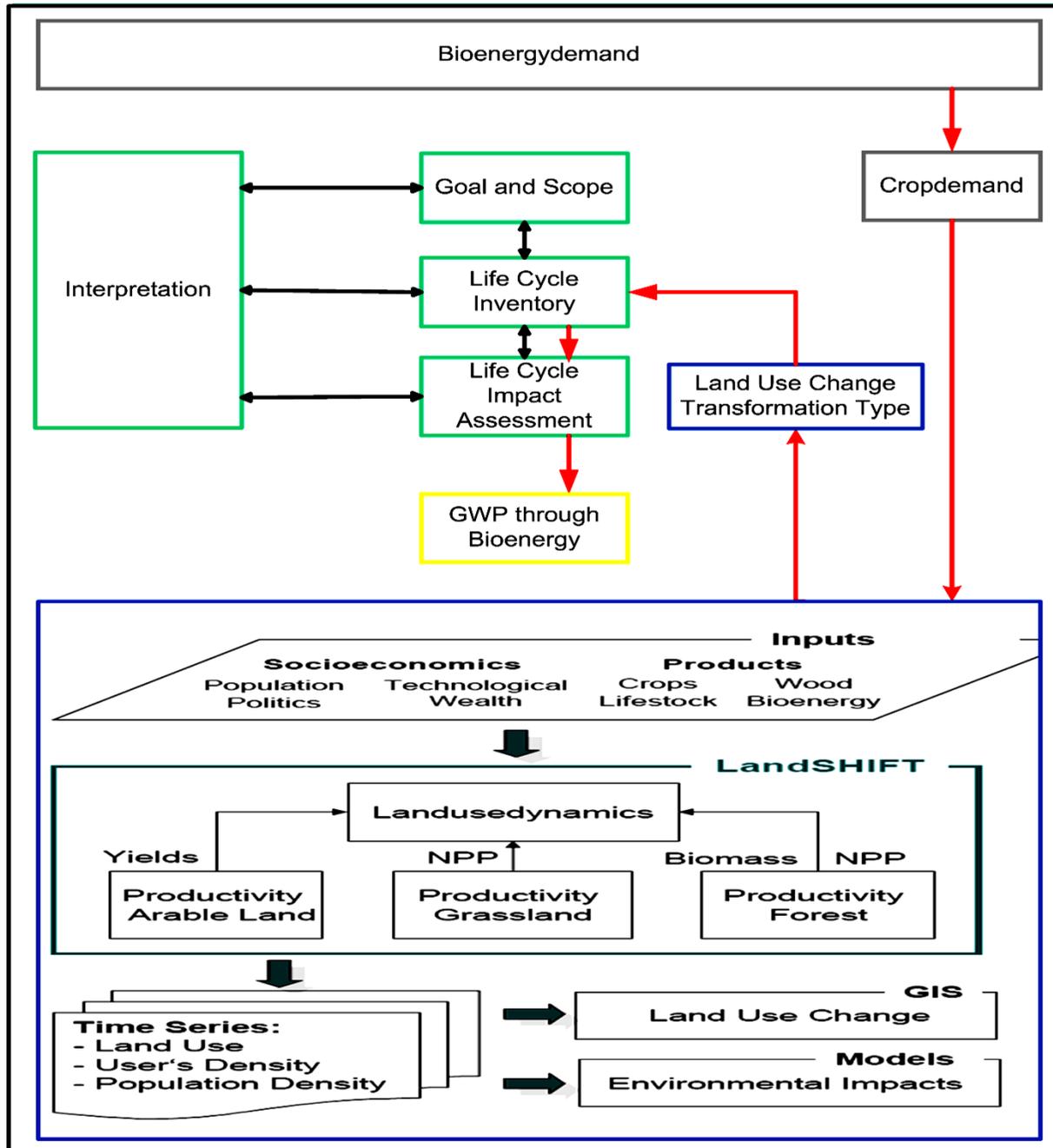
Fazit

⇒ Landnutzungsänderungen und Kohlendstoffflüsse korrelieren nichtlinear und steigen in Abhängigkeit des Bioenergiebedarfs

⇒ **Wichtige Einflussfaktoren:**

- Abnehmende Erträge durch Bodendegradation
- Zunehmende Kohlenstoffflüsse durch zusätzliche Landinanspruchnahme

⇒ Landnutzungsänderungen sollten räumlich explizit und als nichtlineare Funktion des Outputs modelliert werden



- Implementierung der LUC und C-Flüsse in LCA

- Verbinden von Kohlenstoffflüssen und Bioenergienachfrage

- Parametrisierung der Daten in LCA-Datenbanken

Zusatzinformationen in Bezug auf die Diskussionsrunde

Landnutzungsänderungen im Rahmen des LCA



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- THG-Emissionen des Anbaus, Transports, Konversion, Distribution
- Land Kategorien, die für die Bioenergiebereitstellung verändert werden
- Damit verbundene C-Aufnahme bzw. –Abgabe durch die Konversion
- Energiepflanzen (Palmen, Soja, Mais, Zuckerrohr, etc.)
- Energie- bzw. Ernteerträge
- Landmanagementpraktiken
- Klimaregion
- Technologien
- Koppelprodukte

Biofuels 2008

Landnutzung/Landnutzungsänderungen in der Sachbilanz (I)



Landnutzung = „Occupation“

- Das von LUC betroffene Gebiet wird in Flächeneinheiten und als Ressource im Elementarfluss angegeben „occupation process“
- Es gibt zudem eine Zeitskala hinsichtlich verfügbarer Landflächen (surface-time units: $m^2\text{year}$) „occupation interventions“
- Occupation (ha/a)

Ecoinvent LCI V2.0. 2007

Landnutzung/Landnutzungsänderungen in der Sachbilanz (II)



Landnutzungsänderungen = „Transformation“

- Das von LUC betroffene Gebiet wird in als Elementarfluss angegeben „transformation“ und bezieht sich auf die Flächenumwandlung von Typ A→B
- Transformation (ha)

Landnutzung/Landnutzungsänderungen in der Wirkungsabschätzung (I)

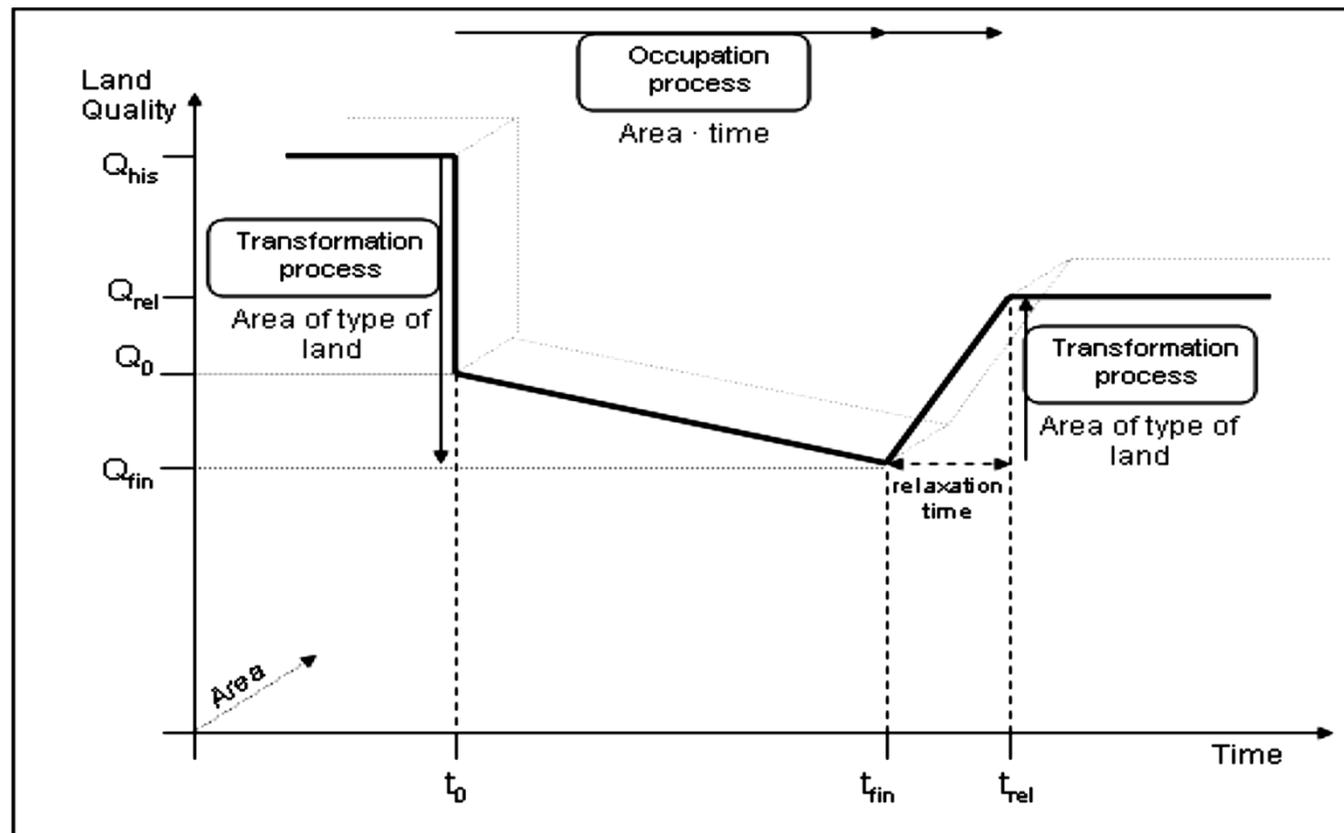


- Funktionalität der jeweiligen Fläche für Menschen, Natur, Wasser, Biodiversität, Ressourcen /Schlüsselindikatoren zur Messung und Quantifizierung von Landnutzungsänderungen (Erwin Lindeijer, 2000)
- PAF (potentially affected fraction of species) implementiert in EI99

- 5 Klassifizierungskategorien der jeweiligen Fläche von naturbelassenheit bis hin zu durch anthropogene Einflüsse degradiert. Ein von der Landschaftsökologie abgeleitetes Konzept der *Hemeroby* (Martin Patel 2005)

- Zur Implementierung in die ISO-Norm dienen Indikatoren mit Aussagen zur Bodenqualität (Milà i Canals, 2007)
- Auswirkung auf die Biodiversität
- Biotisches Produktionspotential
- Ökologische Bodenqualität

Landnutzung/Landnutzungsänderungen in der Wirkungsabschätzung (II)



Quelle: Milà i Canals, Int. J LCA 12, 2007

Landnutzung/Landnutzungsänderungen in der Wirkungsabschätzung (III)



Wirkungskategorie GWP

- Emissionen durch Inanspruchnahme der Böden und oberirdischen Vegetation

Andere Wirkungskategorien

- Qualität des Bodens
- Biodiversität
- Wasserkreisläufe
- Human- und Ökotoxikologie

Notwendige Informationen zur Bewertung von Landnutzungsänderungen



- Die Fläche (genutzte Flächengröße)
- Die Zeit (Dauer der Okkupationsprozesse)
- Die Qualität (Landqualität im Bezug auf die Ausgangssituation als Referenzgröße, d.h. ein Vergleich zwischen vor, während und nach der Nutzungsphase)

Kalkulation von CO₂-Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen



- Berechnung des Bodenkohlenstoffs der initialen und finalen Landnutzung

$$SOC_i = SOC_n * LUF_1 * LMF_1 * IL_1$$

- SOC_i = Initial Bodenkohlenstoff [t/ha]
- SOC_n = Ursprünglicher Bodenkohlenstoff (Klima, Region, Bodentyp [t/ha])
- LUF = Landnutzungsfaktor
- LMF = Landmanagementfaktor
- IL = Inputlevelfaktor

Kalkulation von CO₂-Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen



$$SOC_f = SOC_n * LUF_2 * LMF_2 * IL_2$$

SOC_f = Finaler Bodenkohlenstoff, d.h. nach der Transformation [t/ha]

$$CO_2 = (SOC_i - SOC_f) * \frac{44}{12}$$

THG-Emissionspotential von Biokraftstoffen durch Landnutzungsänderungen



Berechnung von direkten Landnutzungsänderungen

- Um den Beitrag der LUC zur THG-Emission der Bereitstellungskette eines Biokraftstoffs zu ermitteln, wird der Wert der jährlichen CO₂-Emission mit dem spezifischen Flächenbedarf verrechnet, der zur Bereitstellung von einem GJ Kraftstoff benötigt wird.

Rohstoff	Bezugsgröße in kg und MJ	Benötigte Fläche pro GJ Kraftstoff
Weizen aus Europa	37,5 kg, 1 GJ	174 m ²
Mais aus Nordamerika	26,88 kg; 1GJ	131 m ²
Raps aus Europa	26,88 kg; 1GJ	200 m ²
Zuckerrüben aus Europa	26,88 kg; 1GJ	89 m ²

Quelle: IE, 2007

		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 CO₂/(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)

THG-Emissionspotential durch iLUC

Berechnung des iLUC-Faktors - Ökoinstitut



- Aus den Handelsanteilen der Hauptländer (USA, EU, BR, ID) an den Hauptprodukten (Mais, Weizen, Raps, Soja, Palmöl) und den jeweiligen Erträgen können Rückschlüsse auf die globale gewichtete Flächenbelegung gezogen werden, die in Bezug auf das Referenzjahr 2005 entstehen und von displacement betroffen sein würden

Umgewandelte Flächen für landwirtschaftliche Zwecke

- USA, EU (Grünland)
- Brasilien (Savanne)
- Indonesien (Tropischer Regenwald)

- Mit den ober- und unterirdischen Kohlenstoffbilanzen für die Regionen konnte ein global gewichtetes THG-Emissionspotential von 400 t CO₂/ha berechnet werden

- Umlegung auf 20 Jahre = 20 t CO₂ t/ha