

Internationale Kooperation zur Entwicklung nachhaltiger Biokraftstoffe – ein deutsch-brasilianisches Beispiel¹

MARTIN OBERMAIER
CAREY KING
MARCELO MOREIRA

I. EINLEITUNG

■ Die Notwendigkeit, die Emission anthropogener Treibhausgase (GHG) zu reduzieren, um die aktuelle globale Erwärmung umzukehren erhält in den letzten Jahren neue wissenschaftliche Grundlagen (IPCC, 2007; Smith et al., 2009). Besonders wichtig, um Klimaveränderungen zu vermindern, sind die Entwicklungen auf dem Transportsektor, einer der Sektoren mit dem höchsten Ausstoß (Ribeiro et al. 2007) und der damit einhergehenden großen Sorge um den Mangel („*the yet perceived lack of*“) an wettbewerbsfähigem Ersatz für erdölbasierte Kraftstoffe (The Royal Society, 2008). Eine mögliche Alternative, die sich in den letzten beiden Jahrzehnten abzeichnete, sind die so genannten flüssigen Biokraftstoffe, also Kraftstoffe die aus erneuerbarer Biomasse gewonnen werden und spontan und ohne große Veränderungen am Motor in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können.

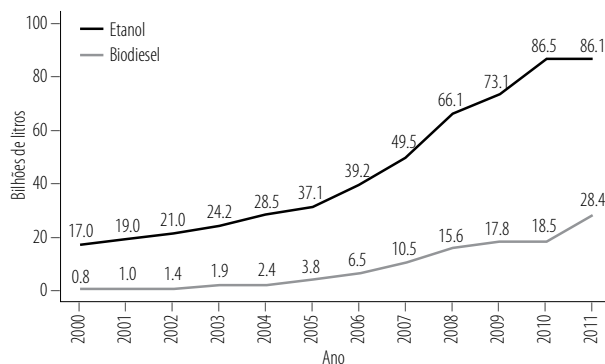
Tatsächlich argumentieren viele Fachleute, dass die flüssigen Biokraftstoffe eine wichtige Energiequelle in den nächsten Jahrzehnten sowohl in Industrieländern als auch in Entwicklungsländern (Berndes, Hoogwijk und van den Broek, 2003; IEA Bioenergy, 2007) sein werden. Die ersten kommerziellen Entwicklungen gab es vor allem beim Ethanol (Walter et al., 2008), das durch Fermentierung und Destillationsprozesse aus Zuckerrohr gewonnen wird; Ethanol kann konventionellem Benzin zugesetzt oder in Reinform verwendet werden. Jedoch haben

1 Unter Mitwirkung von Amaro Pereira Jr., André Nassar, Bridget Scanlon, Emilio Lèbre La Rovere, Leila Harfuch, William Wills.

neue technische Alternativen (insbesondere Biodiesel), Rohstoffe (Mais, Soja, Palmöl, Raps, usw.) oder technische Verfahren (erster oder zweiter Generation) das Handlungsfeld für die Biokraftstoffe in den letzten Jahrzehnten diversifiziert.

Mittlerweile stammt etwa 45% der Biokraftstoffproduktion aus Entwicklungsländern (REN21, 2010). Auf dem Bild 1 sehen wir die Entwicklung der Ethanol- und Biodieselproduktion seit 2000. Wie man sehen kann, beeinträchtigten die Nachwehen der Finanzkrise von 2008 stark die Entwicklung des Sektors: das durchschnittliche Jahreswachstum von Ethanol lag bei $-0,5\%$ im Jahr 2011 und von Biodiesel bei 16% , es kam also in den letzten fünf Jahren in beiden Sektoren zu einem starken Abfall der Wachstumsraten (17% für Ethanol und 27% für Biodiesel) (REN21, 2012).

Bild 1. Weltweite Biodiesel- und Ethanolproduktion, 2000-2011



Quelle: REN21 (2012).

Trotzdem sind die Biokraftstoffe stark in den internationalen Debatten präsent. Der Klimawandel und die Umweltprobleme sind nicht allein verantwortlich für die ansteigende Produktion von Biokraftstoffen. Ein zweites Argument betrifft die Energiesicherheit: die Erdölpreise haben in den letzten Jahren stark angezogen und sind sehr volatil. Diese Tendenz scheint „zur Fortsetzung verdammt“ (Hazell e Pachauri, 2006) und Länder, die die Energiequellen im Land diversifizieren möchten, werden wohl als Teil der Strategie, sich vom Energiesektor unabhängiger zu machen, flüssige Biokraftstoffe produzieren (Hazell e Pachauri 2006; Ragauskas et al. 2006). Das dritte große und häufig gehörte Argument um die flüssigen Biokraftstoffe zu verteidigen ist die Förderung der ländlichen Entwicklung. Landwirtschaftliche *Commodities* litten Jahrzehntlang an einem chronischen Überangebot was nahe legt, dass die wachsende Nachfrage nach

Biokraftstoffen diese Tendenz wirkungsvoll umkehren und die vorhandenen Produktionskapazitäten erfüllen könnte, um so die Einkommen und Arbeitsplätze in ländlichen Gebieten weltweit zu erhöhen (Ugarte, 2006).

Mittlerweile stellen Forscher dieses positive Bild der Biokraftstoffe als Allheilmittel für die nachhaltige Entwicklung in Frage. Neue wissenschaftliche Beweise verbinden die Produktion von Biokraftstoffen mit dem Verlust der Artenvielfalt, dem exzessiven Verbrauch der Wasserreserven und der Nahrungsmittelunsicherheit, so dass im Gegensatz zu vorangegangenen Studien mit einer Erhöhung der Treibhausgase wegen der indirekte Abholzung und den vermehrten Einsatz von Düngemittel auf Erdölbasis (Fargione et al., 2008; Gibbs et al., 2008; Searchinger et al., 2008) zu rechnen ist. Außerdem haben die rechtlosen Arbeitsbedingungen im Anbau der Rohstoffe für Biokraftstoffe und die Verdrängung der landwirtschaftlichen Familienbetriebe von ihren Ländereien, um den Biokraftstoffen Raum zu geben (Hall, Matos, und Langford, 2008; Butler und Laurance, 2008) weitere Zweifel geweckt, ob die Biokraftstoffe für eine nachhaltigere Entwicklung wirklich geeignet sind, das sind Probleme, die sich heute in den öffentlichen Diskussionen in Deutschland niederschlagen. Anders als in Brasilien, war die öffentliche Meinung in Deutschland hinsichtlich der sozialen und ökologischen Auswirkungen von Biokraftstoffen in den letzten Jahren zum großen Teil skeptisch, teils auch offen ablehnend. Die einflussreiche NGO Greenpeace Deutschland hat 2012 zu einem sofortigen E10-Moratorium aufgerufen, um den Druck auf den Getreidemarkt und die Probleme für die Nahrungsmittelsicherheit zu reduzieren, ein Standpunkt der von einer eher ungewöhnlichen Koalition aus Hilfsorganisationen wie Misereor oder Brot für die Welt bis hin zum aktuellen Entwicklungsminister Dirk Niebel der konservativ-liberalen Regierung (Zeit, 18. August 2012) geteilt wurde. Mit anderen Worten, die Diskussion über Biokraftstoffe nimmt ethische Züge an – so lange die Probleme des Hungers und der Nahrungsmittelsicherheit, nicht unbedingt in Deutschland sondern vor allem in den unterentwickelten Ländern, nicht gelöst wurden, ist die Schaffung von neuem Druck auf die internationalen Nahrungsmittelmärkte moralisch nicht vertretbar. Vor allem weil Deutschland, im Gegensatz zu Brasilien, nicht hinsichtlich der Rohstoffe für die Herstellung von Biokraftstoffen unabhängig ist. Obwohl sich die aktuelle Bundesregierung immer noch für die Produktion von Biokraftstoffen ausspricht, ist es offensichtlich, dass in einem Kontext, in dem eine große Anzahl von Ländern – einschließlich Brasilien – den Schwerpunkt durch die Einführung von verpflichtenden Beimischungen (siehe Tabelle 2) weiterhin auf die Entwicklung von Biokraftstoffen legt, die globalen Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit beachtlich sein können.

Tabelle I. *Verpflichtende Beimischungen für Biokraftstoffe weltweit*

Land	Verpflichtungen
Deutschland	B5,2 und E10
Argentinien	E5 und B7
Australien	New South Wales: E6 und B2; Queensland: E5
Belgien	E4 und B4
Brasilien	E18–25 und B5
Kanada	Landesweit: E5 und B2. Provinzen: E5 und B3–5 in British Columbia; E5 und B2 in Alberta; E7.5 und B2 in Saskatchewan; E8.5 und B2 in Manitoba; E5 in Ontario
China	E10 in neun Provinzen
Kolumbien	E8 und B7; B20 bis 2012
Nordkorea	B2,5
Spanien	Die Beimischung von Biokraftstoffen ist verpflichtend: aktuell 6,2% und für 2012 und 2013 6,5%; B6 und B7 aktuell bis 2012
USA	Landesweit: Für die erneuerbaren Standardkraftstoffe 2 (RFS2) sind 36 Milliarden Gallon erneuerbare Kraftstoffe erforderlich, die dem Transportkraftstoff jährlich bis 2022 beigemischt werden müssen. In den Bundesstaaten: E10 in Missouri und Montana; E9–10 in Florida; E2 und B2 in Louisiana; B2, in 2010, bis 2011 B3, B4 B5 in 2012, bis 2013 (jeweils bis zum 1. Juli des genannten Jahres), in Massachusetts, E10 und B10 B5, in 2012, B20 bis 2015, in Minnesota; B5 nach dem 1. Juli 2012 in New Mexico; E10 und B5 in Oregon; B2 nach einem Jahr erreicht der Produktionsstand von Biodiesel 40 Millionen Liter, B5, ein Jahr später 100 Millionen Gallon B10, ein Jahr später 200 Millionen Liter, und ein Jahr später B20 400 Millionen Liter in Pennsylvania; E2, B2, B5 mit einem Anstieg auf 180 Tage, nach einem Zustand von Rohstoffen und mahlfähiges Saatöl kann die Anforderung von 3% im Staat Washington erfüllt werden.
Äthiopien	E10
Philippinen	E10 und B2
Guatemala	E5
Indien	B2,5 und E3
Jamaica	E10 und B5
Malaysien	B5
Malawi	E20
Paraguay	E24 und B5
Peru	B5 und E7.8
Vereinigtes Königreich	B4
Thailand	E5 und B5
Uruguay	B2; B5 bis 2012; E5 bis 2012
Zambia	E10 und B5

Quelle: REN21 (2012).

In diesem Kontext gilt Brasilien, einer der größten weltweiten Kraftstoffproduzenten, weiterhin zum Teil als Erfolgsgeschichte, wenn wir uns die niedrigen Treibhausgasemissionen, die geringe Abholzung angesichts der verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen für Energiekulturen und die Ziele für die soziale Integration von landwirtschaftlichen Familienbetrieben (Goldemberg, Coelho,

e Guardabassi, 2008; Schaffel et al., 2012) ansehen. Ein Beispiel hierfür ist die Europäische Union, die auf Grund des ansteigenden Drucks der Zivilgesellschaft, die der Entwicklung eines Biokraftstoffmarktes mit interner Produktion kritisch gegenüber steht, den Abschluss eines bilateralen Abkommens mit Brasilien diskutiert, um große Mengen nachhaltiges Ethanol zu liefern. So könnte man Brasilien als Testfall mit strengen Kriterien sowohl nach sozialen wie auch Umweltaspekten (EurActiv, 2008) sehen.

Und tatsächlich ist Deutschland aktuell ein grosser Importeur von brasilianischem Ethanol, um die aktuelle Beimischungspflicht E10 (DBFZ, 2012) zu erfüllen, könnte aber dies möglicherweise in Zukunft auch für Biodiesel sein, das derzeit nur für den Binnenmarkt produziert wird. Seit 2007, als Deutschland eine Produktionskapazität von 5 Millionen t Biodiesel im Jahr erreichte, gibt es eine relative Stagnation auf dem Sektor, die sich jedoch weniger auf das Ethanol auswirkt, wo die Produktion 1 Million t jährlich erreichte und noch höhere Wachstumsraten zu verzeichnen waren. Außerdem müssen wir feststellen, dass sich die Biokraftstoffe auf dem deutschen Markt veränderten, von einer Situation, in der die reinen Pflanzenöle und reine Biodiesel vorherrschend waren zu einem Markt der Mischungen und *Blends*, mit einem starken Einfluss der Erdölindustrie (DBFZ, 2012): um ihre Betriebskosten zu vermindern haben viele multinationale Unternehmen wie Shell oder BP stark in dem brasilianischen Markt investiert, um die vor allem in der EU verpflichtenden Mischungen zu erreichen (Oberling et al., 2012).

Wir zeichnen eine kurze Geschichte der brasilianischen Biokraftstoffe und der Notwendigkeit, die verschiedenen Wechselwirkungen zu prüfen, die eine Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen ausmachen, um ein größeres Bewusstsein und eine stärkere Kooperation zwischen Brasilien und Deutschland in diesen Fragen zu erreichen. In diesem Zusammenhang zeigt der Artikel die ersten Schritte eines internationalen Forschungsprojektes mit dem Namen *Integrated Modeling of the Land Use, Water and Energy Nexus of Brazilian Biofuels Expansion under Climate Change*, das vom deutschen Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen der International Climate Initiative (ICI) unterstützt wird.

2. EIN KURZER ABRISS DER BOKRAFTSTOFFE IN BRASILIEN

■ Brasilien ist einer der wichtigsten Akteure in der Produktion von Biokraftstoffen seit den 1970er Jahren mit der Einführung des Proálcool, es handelt sich

hierbei um das erste Regierungsprogramm, das in großem Umfang den Einsatz von Ethanol auf dem Transportsektor vorsah. Das Programm wurde nach der ersten Erdölkrise aufgelegt um das Land nicht nur vor den hohen Erdölpreisen zu schützen, sondern auch die Zuckerindustrie im Land zu unterstützen, die sich in einer ernsten Krise befand (Jull et al., 2007; Nitsch e Giersdorf, 2005; Oliveira, 2002). So sollte Proálcool eine gewisse Energieunabhängigkeit sichern und die brasilianische Position im Technologeaustausch und die Einnahmen verbessern (Jull et al., 2007).

Zu Beginn des Programms wurde Ethanol mit Benzin (das so genannte Anhydridethanol) für den Einsatz in konventionellen PKWs vermischt, aber die zweite Erdölkrise zwischen 1978–1979 förderte den Einsatz von „reinem“ (oder hydrierten) Ethanol als Benzinersatz, was umfassendere technische Veränderungen an den Fahrzeugen notwendig machte, um alle Fahreigenschaften zu gewährleisten. Eine Vielfalt unterschiedlicher Maßnahmen wurde beim Proalcóol umgesetzt um dessen Einsatz zu fördern. So sicherte beispielsweise der brasilianische Erdölriese Petrobras den Einkauf von festen Mengen Ethanol zu, während die Regierung den Ethanolpreis festlegte, Investitionen in neuen Produktionseinheiten durch Zinsvergünstigungen förderte und den Kauf von rein ethanolbetriebenen Fahrzeugen (His, 2004) steuerlich begünstigte. Das Proalcóol-Programm erfreute sich hoher Akzeptanz, so dass in den 1980er Jahren in wenigen Jahren die Anzahl alkoholbetriebener Fahrzeuge auf über 90% gestiegen ist (Walter et al., 2008). Die Gesamtzahl an Investitionen erreichte 11 Milliarden Dollar und sollte eine jährliche Produktion von 16 Milliarde Liter sicherstellen (Walter et al., 2008).

Der Zusammenbruch der Erdölpreise 1986 und Entdeckung neuer Erdölvorkommen durch Petrobras veränderte die Wirtschaft des Proalcóol in Brasilien nachhaltig. Die Sorge um die Unabhängigkeit vom Erdöl ist gesunken und eine Preissubvention für Ethanol wurde immer unmöglicher, nachdem die Benzinspreise so stark gestürzt sind (His, 2004). Außerdem löste die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Proalcóol-Programms, die auch ineffiziente Produzenten förderte, starke Kritik aus (Walter et al., 2008) in einer Zeit, in der die Regierung große finanzielle Schwierigkeiten hatte und die Zahlungsfähigkeit des Landes immer stärker gefährdet war. Zusätzlich zu diesem Druck hat eine günstige Entwicklung des Zuckerpreises auf dem internationalen Markt die Produktion auf den Nahrungsmittelsektor verlagert, was zu einem Mangel an Ethanol führte, der auch die Glaubwürdigkeit gegenüber den Verbrauchern in Frage stellte. Als Folge dieser Entwicklung musste Ethanol während der Versorgungskrise zwischen 1990

und 1991 importiert werden, ebenfalls viele Jahre später, zwischen 1993 und 1997, als die Zuckerpreise für den Export von Rohstoffen (Junginger et al., 2008) wieder günstig waren.

Auf Grund dieser Probleme musste Proalcóol in den 1990er Jahren tiefgreifend neu formuliert werden. Öffentliche Zuschüsse für den Kauf von PKWs, die mit reinem Ethanol betrieben werden, wurden aufgehoben, die Kraftstoffpreise wurden frei gegeben und alle Zuschüsse für die Ethanol- und Zuckerrohrindustrie wurden aufgehoben (Walter et al., 2008), einschließlich jeglicher Preisgarantie (His, 2004). Der Einsatz von hydriertem Ethanol wurde drastisch reduziert – nur etwa 1.000 Fahrzeuge die mit reinem Ethanol betrieben wurden, wurden zwischen 1997–1998 (Walter et al., 2008) verkauft. Im Gegenzug zu dieser Entwicklung wurde der Einsatz von Anhydridalkohol immer bedeutsamer: 1993 legte die Regierung fest, dass 22% Anhydridethanol dem Benzin verpflichtend beigemischt werden sollte.

In diesem Moment überstiegen die Kosten der Alkoholproduktion noch die Benzinkosten aus Erdölimporten, selbst in den effizientesten Destillen. Dennoch stieg der Verkauf von ethanolbetriebenen Fahrzeugen ab 2001 durch den Preisunterschied zwischen Ethanol und Benzin, verursacht durch eine Kombination von Erdölpreisen und Ethanolkosten. Ebenso wichtig war die Markteinführung der so genannten *Flex-Fuel* (FFV) Technologie für PKWs, das heißt, Fahrzeuge, die wahlweise mit reinem Ethanol oder Benzin und Ethanol in einem beliebigen Mischungsverhältnis fahren, wurden zum Verkaufsschlager unter den Verbrauchern. 2006 waren bereits 85% der verkauften Neuwagen FFVs, was in der Folge die Nachfrage nach Ethanol noch einmal ansteigen ließ.

Auf Grund dieser Entwicklung sehen die Wissenschaftler einen starken Binnenmarkt für Ethanol in naher Zukunft voraus (Walter et al., 2008) particularly in US and Brazil. Ethanol trade represented about 10% of world consumption in 2005, Brazil being the main exporter. The most important consumer markets—US and European Union (EU). Hier begrenzt die aktuelle Regierung ihren Eingriff in die Biokraftstoffpolitik zum Thema Ethanol auf drei Maßnahmen: Pflichtbeimischungen von Ethanol ins Benzin, niedrigere Steuersätze für die gemischten Treibstoffe und Steuervergünstigungen, um den Kauf von ethanolbetriebenen Fahrzeugen zu fördern (Jull et al., 2007). Die nationalen Maßnahmen zum Ethanol sind noch recht flexibel: die brasilianische Regierung erhöhte die Pflichtbeimischung von Ethanol von 22% auf 25%, um die Alkoholreserven am Ende des letzten Jahrzehnts zu vermindern. Zwischendurch wurde diese Beimischungspflicht auf 18% bis 20% reduziert, die erhöhte Nachfrage nach Alkohol

und der Produktionsrückgang von Zuckerrohr auf Grund der anhaltenden Trockenheit in einigen Anbaugebieten führten zu einem eingeschränkten Angebot im Land. Dann wurde der Prozentsatz im Mai 2013 nochmal auf 25% erhöht, um die Ethanolindustrie zu unterstützen und die Benzinimporte zu reduzieren (REN2I, 2012).

Mittlerweile wird das Proálcool-Programm heute als Erfolgsgeschichte gesehen, denn die Produktion von Ethanol aus Zuckerrohr in großem Umfang und dessen Einsatz als Treibstoff für PKWs (Goldemberg, Coelho, und Guardabassi, 2008; Kojima und Johnson, 2006) erwies sich als machbar. Es ist auch der einzige Fall, in dem eine wettbewerbsfähige Industrie geschaffen wurde. Der Weltbankbericht von Kojima und Johnson (2006) benannte die fünf Hauptfaktoren für diese Entwicklung: (1) der Anbau von Zuckerrohr in Brasilien hängt noch nicht von Bewässerung ab, sondern erfolgt überwiegend in trockenen Gegenden, im Gegensatz zur Zuckerproduktion beispielsweise in Australien und Indien; (2) es stehen noch viele landwirtschaftliche Expansionsflächen im Land für den Zuckerrohranbau zur Verfügung; (3) die Forschung und Entwicklung (R&D) und die Handelsproduktion haben seit drei Jahrzehnten eine höhere Produktivität gefördert; (4) die Zuckerfabriken und Destillen sind häufig integriert und flexibel, um von der Zuckerproduktion auf Alkohol umzusteigen – so sind die Eigentümer der Plantagen in der Lage, aus den Preisschwankungen zwischen den beiden Produkten Vorteile zu erzielen; und (5) die FFV-Fahrzeuge verminderten die Angst der Verbraucher hinsichtlich eines möglichen Ethanolmangels, außerdem wurden Investitionen in integrierte Zuckerindustriekomplexen gefördert².

Eine weitere sehr wichtige Alternative für die Entwicklung von Biokraftstoffen in Brasilien war die Schaffung eines Binnenmarktes für Biodiesel im Rahmen des Nationalen Programms zur Produktion und Nutzung von Biodiesel (PNPB), das 2004 verabschiedet wurde. Das PNPB galt zunächst als Gegenangebot zum Proálcool, nachdem hier wenig Bereitschaft gezeigt wurde, auch die ärmeren familiären Kleinbetriebe in die *Commodities*-Ketten des Programms aufzunehmen (Hall et al., 2009). Obwohl die ersten Pilotprojekte des Proálcool auch den Maniokanbau zur Herstellung von Ethanol in Gemeinschaftsproduktion angedacht hatten, haben sich die Hoffnungen auf die wirtschaftliche Machbarkeit dieser Produktion nicht konkretisiert. Und tatsächlich scheinen die direkten sozialen Vorteile des Ethanol heute eher an die zeitlich befristete Einstellung von Erntehelfern mit geringen Qualifikationen geknüpft, nicht aber an deren Integration

2 Man muss jedoch anmerken, dass die Tendenzen auf dem weltweiten Zuckermarkt wohl dauernde Auswirkungen auf die Entwicklung des Ethanolmarktes haben werden (His, 2004).

als selbstständige Produzenten. Auf der anderen Seite sollte das PNPB besonders die soziale Integration von armen Familienbetrieben in den ärmeren Regionen des Landes berücksichtigen, vor allem die Halbsteppe des Nordosten (der *Sertão*), als Mechanismus wurde der Siegel Sozialer Kraftstoff (SCS) eingeführt, um vertragliche Vereinbarungen zwischen landwirtschaftlichen Familienbetrieben und Biodieselproduzenten festzulegen. Diese Vereinbarungen – die bis heute gültig sind – schließen unter anderem Preisgarantien für die landwirtschaftlichen Familienbetriebe ein, sowie die technische Unterstützung und Lieferung von qualitativ hochwertigem Saatgut. Als Ergebnis ist die Teilnahme von landwirtschaftlichen Familienbetrieben im Programm heute sehr viel besser organisiert als damals beim Proálcool, obwohl es dem PNPB Programm im Gegensatz zu den anfangs ehrgeizigen Zielen (Schaffel et al., 2012) nicht gelungen ist, die Landwirte aus dem armen Gebiet im Nordosten von Brasilien zu integrieren.

Die Soja des Agrobusiness ist heute der wichtigste Rohstoff innerhalb des PNPB, sie liefert 80% der Rohstoffe für die heute verpflichtende Beimischung von 5% (B5), während der für die landwirtschaftlichen Familienbetriebe im Nordosten ausgewählte Rohstoff, der Wunderbaum (Mamona) in der Produktion praktisch nicht vorkommt. Diese Entwicklung führte und führt immer noch zu sehr differenzierten sozialen und ökologischen Folgen. Im Fall der Soja förderte die Entwicklung neuer Sorten die in geringeren Breitengraden angebaut werden können die Nutzung von preiswerteren Landstrichen sowie eine starke Senkung der Transportkosten und seit den 90er Jahren die schrittweise Ausbreitung der Produktion in die Länder der landwirtschaftlichen Grenzflächen der zentralen Steppe (Cerrado) (Jank et al., 1999; Smaling et al., 2008; Hall et al. 2009). In dieser Region konzentrierte sich etwa 60% der nationalen Produktion, mit Großgrundbesitzern, Monokulturen und hohem Mechanisierungsgrad, die häufig von großen privaten Konzernen organisiert wurden (Smaling et al., 2008). Außerdem wurde der Anbau von Soja heute kritisiert, weil er die Abholzungen in der landwirtschaftlichen Grenze des Landes fördert, mit möglichen verheerenden Folgen für die Artenvielfalt in dieser Region (Lapola et al., 2010).

Und schließlich ist das Dendê-Öl als ein weiterer Rohstoff zu nennen, den man im Kontext des Programms PNPB herausstellen kann, obwohl dessen Produktion im Land noch sehr gering ist. Während einige der Meinung sind, dass der Anbau von Dendê-Öl vor allem im Staat Pará verwiterte Gebiete sanieren kann, gibt es auch Gegenstimmen die darauf hinweisen, dass ein schnelles Produktionswachstum zu weiterer Abholzung im Amazonasgebiet führen kann, mit starken Auswirkungen auf die Artenvielfalt und der Treibhausgasemissionen GEE.

Auf diese Art und Weise müssen die sozialen und ökologischen Folgen und die wirtschaftlichen Auswirkungen der Expansion des Zuckerrohrs und der Rohstoffe für Biodiesel betrachtet werden um zu verstehen, wie diese einen Beitrag zur Entwicklung eines nachhaltigen Marktes von Biokraftstoffen auf nationaler und internationaler Ebene, sowohl kurz- als auch langfristig leisten können. In diesem Kontext stellt der nächste Abschnitt eine bibliographische Zusammenfassung der wichtigsten Studien hierzu dar, er zeigt auch die vorhandenen Lücken zur Kenntnis und Formulierung von politischen Maßnahmen mit Grundlage auf Beweisen, der so genannten „*evidence-based policymaking*“.

3. SZENARIEN FÜR NACHHALTIGE BIOKRAFTSTOFFE IN BRASILIEN UND LÜCKEN IN DER FORSCHUNG UND IN DER FORMULIERUNG POLITISCHER MASSNAHMEN

■ Modelle, die die Expansion von Biokraftstoffen in Brasilien prüfen, haben in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Dies schließt auch Untersuchungen über die Expansion von Zuckerrohr und Soja (Margulis, Dubeux, und Marcovitch, 2011; Lapola et al., 2010) ein, ebenso wie die Bewertung von agro-ökologischen Risiken und die Produktion von Rohstoffen unter wachsenden Auswirkungen von Klimaveränderungen (Pinto und Assad, 2008; Lobell et al., 2008). Auch die sozialen und ökologischen Aspekte dieser Tendenzen werden immer stärker untersucht. So verwenden beispielsweise La Rovere al. (2011) eine Analyse mit vielfältigen Kriterien, um Themen wie Nahrungsmittelsicherheit und die Einflüsse der Expansion des Zuckerrohrs auf die Wasservorräte zu untersuchen.

Die bei Margulis, Dubeux und Marcovitch (2011) und anderen (Lapola et al., 2010) publizierten Studien zeigen, dass Soja und Zuckerrohr in den zentralen Westen Brasiliens expandieren werden, sie sind aber noch nicht schlüssig über die Auswirkungen auf die direkte und indirekte Abholzung und die Nahrungsmittelsicherheit. Die von Pinto und Assad (2008) durchgeführte Studie stellt fest, dass die Zuckerrohrernten möglicherweise von Klimaveränderungen profitieren werden, während bei anderen Kulturen erhebliche Produktivitätsrückgänge zu erwarten sind. Diese Information ist in den Landnutzungsmodellen noch nicht integriert. La Rovere et al. (2010) zeigen einen hohen Druck auf Wasserressourcen in verschiedenen Regionen des Staates São Paulo, aber wenig Auswirkungen auf die Nahrungsmittelsicherheit. Die Schlussfolgerungen dieser Studien sind allerdings wegen des Mangels an zuverlässigen Daten mit Vorsicht zu genießen.

Ähnliche Studien in den USA über den Wasserverbrauch in der Produktion von Biokraftstoffen (C. W. King, M. E. Webber, und Duncan, 2009; Carey W. King und Webber, 2008) zeigen, dass es starke Verbindungen zwischen den politischen Maßnahmen auf Bundesebene und den regionalen und lokalen Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Wasserreserven gibt. Während die Biokraftstoffe in ihrer Ökobilanz eindeutig mehr Wasser verbrauchen als fossile Kraftstoffe (Carey W. King und Webber 2008), untersuchen diese Analysen nicht wie die Veränderungen der Landnutzung und die Entwicklung von Biokraftstoffen, die die Nachhaltigkeit der lokalen Wasserreserven beeinträchtigen. Scanlon et al. (2007) geben an, dass die Veränderungen in der Nutzung des Landes und der natürlichen Systeme für landwirtschaftliche Systeme signifikant die Aufteilung des Wassers in grünes Wasser (Bodenfeuchtigkeit) und blaues Wasser (Flüsse und Grundwasser) verändern. Weitere mögliche Auswirkungen der veränderten Landnutzung durch die Expansion der Biokraftstoffe, die aus vielen Studien außerhalb Brasiliens hervorgehen, weisen auf eine Gefährdung der Nahrungsmittelsicherheit, der Artenvielfalt und durch flüssige Emissionen von Treibhausgasen hin (Gibbs et al, 2008; Searchinger et al, 2008; Rosegrant, 2008; Butler und Lurance, 2008; Braun, 2008).

Aus diesem Grund sind trotz neuerer Fortschritte in der Forschung und Modellierung von Biokraftstoffen die Wechselwirkungen zwischen der Expansion der Biokraftstoffe, der verfügbaren Wasservorräte und der verschiedenen Auswirkungen der Landnutzung in Brasilien noch wenig erforscht, was zu ernststen Problemen in der Formulierung von politischen Maßnahmen im Land führt. Diese Lücken fassen wir in den folgenden Absätzen zusammen.

Erstens sind die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf die Produktivität der landwirtschaftlichen Kulturen und der Wasservorräte noch nicht in den genannten Studien integriert. Dies ist relevant, denn die Verfügbarkeit von Wasser und die landwirtschaftliche Produktivität neigen schon kurz und mittelfristig (2020–2030) zu einem signifikanten Rückgang (eine Erhöhung ist nur im Fall von Zuckerrohr zu verzeichnen), was neue Konflikte verursachen und die bestehenden Konflikte zwischen den unterschiedlichen Sektoren und den Einsatz dieser Rohstoffe erhöhen kann. Außerdem können diese Tendenzen zu einem suboptimalen Einsatz der Mittel, zu kontraproduktiven politischen Maßnahmen und langfristig zu einer nicht nachhaltigen Entwicklung führen. In Extremfällen können die idealen Orte zur Produktion von Rohstoffen für Biokraftstoffe andere Kulturen oder die Landnutzung in die *hotspots* der Artenvielfalt verdrängen, bei

der auch noch nachhaltigere Szenarien Kompromisse zwischen dem Anbau von Biotreibstoffen und der Nahrungsmittelproduktion beinhalten können. Dies hat auch Folgen für das Konzept der geeigneten Strategien für die Anpassung der Klimaveränderungen im Land.

Zweitens, nachdem die brasilianische Landwirtschaft, einschließt des Anbaus von Rohstoffen für die Produktion von Biokraftstoffen, vor allem in Trockengebieten erfolgt, fehlen immer noch Untersuchungen über die Auswirkungen der Bewässerung auf die lokalen und regionalen Wasservorräte. Hier muss man die Bewässerung gleichzeitig als eine Alternative untersuchen um (1) die landwirtschaftliche Produktion zu verbessern und (2) als Teil einer Strategie zur Anpassung an Klimaveränderungen angesichts der steigenden Oberflächentemperatur und der potentiell weiteren Bedürfnisse von Wasservorräten für die Pflanzen in ganz Brasilien.

Drittens prüfen die vorhandenen Studien nicht die Wasservorräte, die Landnutzung und die Energiefragen in einem integrierten Ansatz, sondern verwenden Ansätze, die sich thematisch auf besondere Fragen beschränken wie beispielsweise die Auswirkungen der Expansion auf die Nahrungsmittelsicherheit oder die Veränderungen der Landnutzung durch die Expansion von Zuckerrohr oder Soja. Dies bedeutet, dass mögliche Rückwirkungen (*feedback*) der unterschiedlichen Bodennutzungen nicht entsprechend berücksichtigt werden, und dass die politischen Empfehlungen aus diesen Studien angesichts der eingeschränkten (das heißt, thematisch eingeschränkten) Schwerpunkte weniger aussagekräftig sind.

Viertens Produktionsszenarien und der Einsatz von Biokraftstoffen sind mehrheitlich kurzfristig (bis 2020) und haben nur eingeschränkten Wert für die strategische Planung des Sektors in Brasilien, zumal die Änderungsprozesse für die Bodennutzung, die Auswirkungen des Klimawandels und die Politik der Biokraftstoffe vor allem langfristig relevant (2030 und darüber hinaus) sind.

Fünftens und letztens wurde die Expansion des Biodiesels aus Palmöl, die in den verwiterten Gebieten im Amazonasgebiet erfolgen soll, noch nicht in einem Anwendungsmodell überprüft. Aus diesem Grund ist es wichtig zu verstehen, ob und wenn ja wie, Biodiesel aus Palmöl die Erfolgsgeschichte des Ethanol aus Zuckerrohr im Südwesten des Landes nachbilden kann.

Zusammengenommen führen diese Mängel zu beachtlichen Unsicherheiten hinsichtlich der freiwilligen Selbstverpflichtung Brasiliens, bis 2020 die Emissionen zwischen 36,1% und 38% zu vermindern, zumal dieser Plan sich auf die Erwartung eines starken Wachstums von Biokraftstoffen im Land gründet. Die vorhandenen Studien sind nicht schlüssig ob, wenn und in welchem Grad die direkten oder indirekten Veränderungen der Bodennutzung auf Grund der Expansion der Biokraftstoffen im Land relevant sein könnten, wie die Wasservorräte beeinträchtigt werden können, ob die Nahrungsmittelsicherheit zu einem Problem werden kann und inwieweit die Entwicklung des Sektors eine grüne Wirtschaft im Land insgesamt fördern kann. Brasilianische Strategien um nachhaltige Biokraftstoffe zu nutzen, zum Beispiel, durch robuste Kriterien für die Zertifizierung, sind diese auch aus Mangel an zuverlässigen mittelfristigen empirischen Beweisen begrenzt.

4. DIE NÄCHSTEN SCHRITTE: INTEGRATION VON WISSENSCHAFT UND POLITIK ZUR ENTWICKLUNG VON NACHHALTIGEN BOKRAFTSTOFFEN

■ Die brasilianische Regierung reagierte auf die Sorgen um die Nachhaltigkeit der Biokraftstoffe proaktiv, indem sie in die Ministerial- und Sektorialprogramme für die Expansion der Biotreibstoffe und/oder andere Landnutzung (einschließlich der Pläne zur Entwicklung des Zuckerrohr für Ethanol PNPB, den Plänen für Land- und Viehwirtschaft des Ministeriums für Landwirtschaft, Viehzucht und Versorgung, MAPA), die Entwicklung von Zertifizierungsstandards (INMETRO, ISO/ABNT), technische Innovation (CTBE), Räte oder Ausschüsse der Wassereinzugsgebiete (ANA) aufnahm, oder durch die Einführung von Plänen zur agroökologischen Zoneneinteilung (für unterschiedliche Rohstoffe für Biotreibstoffe). Allerdings wird die nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen in Brasilien jetzt auf den Prüfstand gestellt, nachdem sowohl die nationale als auch die internationale Nachfrage nach in Brasilien produzierten Biokraftstoffen steigt – und damit die Produktion von Biokraftstoffen in neuen mikroklimatischen Gebieten und Konditionen. Außerdem geht man mittlerweile davon aus, dass die Klimaveränderung signifikant die landwirtschaftliche Produktivität und die Verfügbarkeit von Wasser in Brasilien beeinträchtigen wird, einschließlich der möglichen Erhöhung der Konflikte zwischen den unterschiedlichen Bodennutzungen und dem Wettstreit Nahrungsmittel versus Kraftstoffe.

In diesem Kontext hat das Projekt *Integrated Modeling of the Land Use, Water and Energy Nexus of Brazilian Biofuels Expansion under Climate Change*, das kürzlich innerhalb der International Climate Initiative (ICI) des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in Deutschland (BMU) das Ziel die **Entscheidungsträger und Interessensvertreter über mögliche Szenarien zur Expansion von Biokraftstoffen in Brasilien unter Berücksichtigung der Klimaveränderungen zu informieren, um die Formulierung von sinnvollen politischen Maßnahmen zu ermöglichen, mit denen die schädigenden Einflüsse auf die Bodennutzung, die Wasserressourcen und die Nahrungsmittelsicherheit vermindert und gleichzeitig die nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen gefördert werden können**. Die Arbeit erfolgt durch eine multi-institutionelle Modellierung, welche die Auswirkungen auf die Wasservorräte auf der Ebene der Wassereinzugsgebiete, die Analyse der Veränderung der Bodennutzung und der Erstellung eines energetischen und sozialwirtschaftlichen Modells der Makroökonomischen Auswirkungen sowie des Auswirkungen auf die Emission von Treibhausgasen auf die brasilianische Wirtschaft bewertet. Die quantitative Analyse wird unterstützt durch einen Beratungsprozess und die strategische Verbreitung von Wissen, um die Kenntnisse von Spezialisten in die Analyse und die Verbreitung der Ergebnisse des Projektes innerhalb der strategischen Planung von öffentlichen Maßnahmen in diesem Sektor zu veröffentlichen, sowie Initiativen der Nachhaltigkeit aufzunehmen.

Wir glauben, dass die Ergebnisse dieser Studie hochrelevant im brasilianischen Kontext sind. Exportchancen für Biotreibstoffe hängen von einer strengen Einhaltung der Zertifizierungskriterien ab, so wie die Nachhaltigkeitskriterien der Europäischen Union. Die freiwillige Selbstverpflichtung des Landes, die Emissionen im Land bis 2020 um bis zu 38% zu reduzieren basiert auf einer signifikanten Entwicklung von Biokraftstoffen, aber der Klimaschutz hängt auch von der Fähigkeit ab, unter anderem die Abholzung durch die Expansion von Biokraftstoffen zu vermeiden. Die Bewässerung ist eine technische Alternative, die die Produktivität von Rohstoffen stark erhöhen kann und dadurch die Folgen der Veränderungen in der Bodennutzung stark vermindern können, aber deren Auswirkungen für die Wasserversorgung für den menschlichen Verbrauch, für die Nahrungsmittelsicherheit und anderen wichtigen Punkte müssen erst geprüft werden, bevor sich diese Technologie umfassend durchsetzt.

Und genau in diesem Kontext wird eine erhöhtes Bewusstsein und Wissen über den Zusammenhang zwischen der Boden-, Wasser und Energienutzung vor dem Hintergrund der Expansion der Biokraftstoffe in Brasilien der Formulierung

von öffentlichen Maßnahmen und der Überwachung und Beurteilung dieser Fragen zugutekommen. Dies ist auch relevant für Deutschland: für die Zukunft sind strengere Mindestanforderungen hinsichtlich der Fähigkeit der Biokraftstoffe, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den fossilen Alternativen tatsächlich zu vermindern vorgesehen, was auch die Nachfrage nach Biotreibstoffen erhöhen und so mögliche neue Konflikte zwischen Bodennutzung, Wasservorräte, Nahrungsmittelsicherheit und die Produktion erneuerbarer flüssiger Treibstoffe schaffen wird. Dieser Punkt wird noch weiter verstärkt, wenn man die kritischen öffentlichen Diskussionen in Deutschland über die Entwicklung von Biokraftstoffen in Brasilien berücksichtigt.

Weiterhin können wir betonen, dass die für das Projekt vorgesehenen Ergebnissen für die Europäische Union und die deutsche Regierung von Interesse sind und die neuen Strategien und Initiativen der brasilianischen Regierung ergänzen. Das Projekt bietet relevante Informationen für die Formulierung einer grünen Wirtschaft und die Planung einer nachhaltigen Entwicklung der Landwirtschaft, sowie die Verminderung des Klimawandels und die nationalen Pläne zur Anpassung (unter der Leitung des Umweltministeriums MMA und des Brasilianischen Forums für Klimaveränderungen FBMC) und andere Sektoreninitiativen oder regionalen Initiativen (beispielsweise, die Pläne für Landwirtschaft und Viehzucht oder der Plan für Landwirtschaft mit geringem Kohlenstoffausstoß des MAPA), und andere. Das Projekt bietet auch allgemeine Ergebnisse, die eine Referenz für Nachhaltigkeitsinitiativen wie ISO/ABNT, INMETRO, die Podiumsdiskussion über nachhaltige Biotreibstoffe (RSB), Bonsucro, Internationale Zertifizierung für Nachhaltigkeit und CO₂ (ISCC) und andere Standards nationaler und internationaler Zertifizierungen sein können sowie die aktuelle agroökologische Zoneneinteilung für die Rohstoffe von Biotreibstoffen unter der Führung der brasilianischen Regierung unterstützen könnte. Außerdem sind die Projektergebnisse eine machtvolle Waffe für Entscheidungsträger der öffentlichen Politik oder Initiativen, die den Wasservorräten und der Nahrungsmittelsicherheit dienen, einschließlich der laufenden Diskussionen über REDD/REDD+. Und schließlich heizt dieses Projekt auch die Diskussionen an, ob (und wenn ja unter welchen Umständen) die aktuellen brasilianischen Bemühungen hinsichtlich Biokraftstoffe auf andere Regionen der Welt, vor allem in Entwicklungsländern, übertragen oder vervielfältigt werden kann. Das heißt, es ist ein Beispiel dafür, wie die internationale Kooperation die Entwicklung von nachhaltigen Biokraftstoffen zum Schutz der Umwelt unterstützen und auch die Durchführung umfassender sozialer und wirtschaftlicher Vorteile garantieren kann.

DANKSAGUNG

■ Dieser Artikel ist Teil der *International Climate Initiative*. Das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt diese Alternative mit Grundlage auf einer Entscheidung, die vom deutschen Bundestag genehmigt wurde. Die Autoren danken Paula Nacif de Moura für das Lektorat.

- **Martin Obermaier** · Ph.D. in Energieplanung (UFRJ, Brasilien), ist Experte für Anpassung an den Klimawandel und erneuerbare Energien. Von Beruf Ökonom, hat er über 10 Jahre Erfahrung im Projektmanagement. Aktuelle Forschungsprojekte umfassen soziale Entwicklung im brasilianischen Hinterland und Governance- und Umweltschutzfragen in Lateinamerika und Afrika. Vor kurzem erst koordinierte er eine Gruppe zur internationalen Praxis der Anpassung in semiariden und ariden Gebieten mit mehr als 450 nationalen und internationalen Experten. Ebenfalls häufig berät er die Weltbank, OECD, IEA und BNDES. Martin ist verantwortlich für die Gesamtleitung des hier vorgestellten Projektes und der Umsetzung der Strategie zur Verbreitung des Wissens.martin@ppe.ufrj.br
- **Carey W. King** · PhD in Maschinenbau (University of Texas at Austin), ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Department für internationale Energie- und Umweltpolitik der Jackson School of Geosciences der Universität von Texas/ Austin. Er ist spezialisiert auf die Modellierung der Wechselwirkungen von Energiesystemen und Technologien mit der Wirtschaft und der Umwelt. Es verfügt über besondere Expertise in Politik und Technologien im Bereich Energie-Wasser im Zusammenhang von Wasser in Lebenszyklen von Brennstoff und Strom und der Netto-Energie-Analyse (insbesondere wie sich Netto-Energie-Metriken in Bezug auf beide Kennzahlen der Mikro- und Makroökonomie verhalten). Er hat Artikel in multidisziplinären Zeitschriften wie Environmental Science and Technology, Sustainability und Environmental Research Letters veröffentlicht.careyking@mail.utexas.edu
- **Marcelo M. R. Moreira** hat das Studium der Volkswirtschaftslehre an der Päpstlichen Katholischen Universität von Rio de Janeiro (PUC-Rio) absolviert, besitzt einen Master in Wirtschaft von der Universität von São Paulo (FEA-USP) und promoviert momentan in Energie-Planung an der Universität von Campinas (FEM-UNICAMP). Er ist spezialisiert auf Bioenergie und hat Erfahrung in der ökonomischen Modellierung, Prognose und Simulationen. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verhandlungen im Internationalen Handel (ICONE) entwickelte er das Fachmodul „Biokraftstoffe im Brazilian Land Use Model“ (BLUM). Er ist jetzt Koordinator der Themen Zucker und Biokraftstoffe bei Agroicone.marcelo@agroicone.com.br

LITERATURHINWEISE

- BERNDES, Göran; HOOGWIJK, Monique und VAN DEN BROEK, Richard. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25 (1) (Juli): 1–28, 2003. doi:10.1016/S0961-9534(02)00185-X.
- BRAUN, J. von. Food and Financial Crisis: Implications for Agriculture and the Poor. Brief prepared for the CGIAR Annual General Meeting, Maputo: IFPRI, 2008.
- BUTLER, R. A. und Laurance, W. F. Is oil palm the next emerging threat to the Amazon? *Tropical Conservation Science* 2: 1–10, 2008.
- DBFZ. Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ Report 11. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2012.
- EURACTIV. Biofuels not an obligation, say EU ministers. *EurActiv.com*. julho 2008. <http://www.euractiv.com/transport/biofuels-obligation-eu-ministers-news-220222>.
- FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY S. und HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319: 1235–1238, 2008.
- GIBBS, H. K.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; HOLLOWAY, T.; MONFREDA, C.; RAMANKUTTY, N. und ZAKS, D. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters* 3: 1–10, 2008.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. und GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy* 36: 2086–2097, 2008.
- HALL, J.; Matos, S. und LANGFORD, C. H. Social exclusion and transgenic technology: the case of Brazilian agriculture. *Journal of Business Ethics* 77: 45–63, 2008.
- HALL, J.; MATOS, S.; SEVERINO, L. und BELTRÃO, N. Brazilian biofuels and social exclusion: established and concentrated ethanol. *Journal of Cleaner Production* 17: 577–585, 2009.
- HAZELL, P. und PACHAURI, R. K. Overview. In *Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges*, herausgegeben von P. Hazell und R. K. Pachauri. 2020 Focus 14. Washington, D.C.: IFPRI/Teri, 2006.
- HIS, A. Biofuels Worldwide. Panorama 2005. Paris: IFP, 2004.
- IEA BIOENERGY. Potential of Bioenergy to the World's Future Energy Demand". Exco 2007:02. Whakarewarewa: IEA, 2007.
- IPCC. *Climate Change 2007. Vol. 1: The Physical Science Basis. Vol. II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Vol. III: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- JANK, Marcos Sawaya; PAES LEME, Maristela Franco; NASSAR, André Meloni und FAVERET FILHO, Paulo. Concentration and internationalization of Brazilian agribusiness exporters. *International Food and Agribusiness Management Review* 2: 359–374, 1999.

- JULL, C.; REDONDO, P. C.; MOSOTI, V. und VAPNEK, J. Recent Trends in the Law and Policy of Bioenergy Production, Promotion and Use. FAO Legal Papers Online 68. Roma: FAO, 2007.
- JUNGINGER, M.; BOLKESJO, T.; BRADLEY, B.; DOLZAN, P.; FAAIJ, A., HEINIMO, J.; HEKTOR, B., et al. Developments in international bioenergy trade. *Biomass and Bioenergy* 32: 717–729, 2008.
- KING, C. W.; WEBBER, M. E. und DUNCAN, I. J. The water needs for LDV transportation in the United States”. *Energy Policy* 38: 1157–1167, 2009.
- KING, Carey W. und WEBBER, Michael E. Water Intensity of Transportation. *Environmental Science & Technology* 42 (21) (November 1): 7866–7872, 2008. Doi:10.1021/es800367m.
- KOJIMA, M. und JOHNSON, T. Potential for biofuels for transport in developing countries. Knowledge Series 4. Washington, D.C.: ESMAP, 2006.
- LA ROVERE, Emílio Lèbre; OBERLING, D. F.; OBERMAIER, M.; SOLARI, R. und WILLS, W. Aspectos socioambientais da expansão da cana-de-açúcar. In *Economia da Mudança Climática no Brasil: Custos e Oportunidades*, herausgegeben von S. Margulis, C. B. S. Dubeux und J. J. Marcovitch, 62–67. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.
- LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J., BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOLKING, C. und PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 3388–3393, 2010.
- LOBELL, D. B.; BURKE, M. B.; TEBALDI, C.; MASTRANDREA, M. D.; FALCON, W. P. und NAYLOR, R. L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607–610, 2008.
- MARGULIS, Sergio; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt und MARCOVITCH, Jacques. *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2011.
- NAUMANN, Karin; OEHMICHEN, Katja; ZEYMER, Martin; MÜLLER-LANGER, Franziska; SCHEFTELOWITZ, Mattes; ADLER, Philipp; MEISEL, Kathleen und SEIFFERT, Michael. Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ Report 11. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2011.
- NITSCH, M. und GIERSDORF, J. Biokraftstoffe in Brasilien. Volkswirtschaftliche Reihe 12/2005. Berlin: Freie Universität Berlin, 2005.
- OBERLING, Daniel Fontana; OBERMAIER, Martin SZKLO; Alexandre und LA ROVERE, Emilio Lèbre. Investments of oil majors in liquid biofuels: The role of diversification, integration and technological lock-ins. *Biomass and Bioenergy* 46 (November): 270–281, 2012. doi:10.1016/j.biombioe.2012.08.017.
- OLIVEIRA, J. A. P. The policymaking process for creating competitive assets for the use of biomass energy: the Brazilian alcohol programme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6: 129–140, 2002.

- PINTO, Hilton Silveira und Eduardo Delgado ASSAD, herausgegeben 2008. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. São Paulo: Embrapa, UNICAMP.
- RAGAUSKAS, A. J.; WILLIAMS, C. K.; DAVISON, B. H.; CAIRNEY, J.; ECKERT, C. A.; FREDERICK, W. J.; HALLETT, J. P. et al. The path forward for biofuels and biomaterials. *Science* 311: 484–489, 2006.
- REN21. *Renewables 2010 Global Status Report*. Paris: GTZ/REN21 Secretariat, 2010.
- . *Renewables 2012 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2012.
- RIBEIRO, S. K.; KOBAYASHI, S.; BEUTHE, M.; GASCA, J.; GREENE, D.; LEE, D. S.; MUROMACHI, P. J.; NEWTON, P. J., PLOTKIN, S. und SPERLING, D. Transport and its infrastructure. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, herausgegeben B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave und L. Meyer, 323–386. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- ROSEGRANT, M. Biofuels and grain prices: impacts and policy responses. Washington, D.C.: Testimony for the U.S. Senate Committee on Homeland Security and Government Affairs, 2008.
- SCANLON, Bridget R., Ian JOLLY, Marios SOPHOCLEOUS und Lu ZHANG. Global Impacts of Conversions from Natural to Agricultural Ecosystems on Water Resources: Quantity Versus Quality. *Water Resources Research* 43 (3): n/a–n/a, 2007. doi:10.1029/2006WR005486.
- SCHAFFEL, Silvia B.; HERRERA, Selenia; OBERMAIER, Martin und LA ROVERE, Emílio L. Can family farmers benefit from biofuel sustainability standards? Evidence from the Brazilian Social Fuel Certificate. *Biofuels*, 3. Auflage, 2012.
- SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R.A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D. und YU, T. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319: 1238–1240, 2008.
- SMALING, E. M. A.; ROSCOE, R.; LESSCHEN, J. P.; BOUWMAN, A. G. und COMMUNELLO, E. From forest to waste: assessment of the Brazilian soybean chain, using nitrogen as a marker. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128: 186–197, 2008.
- SMITH, JOEL B.; SCHNEIDER, Stephen H.; OPPENHEIMER, Michael; YOHE, Gary W., HARE, William; MASTRANDREA, Michael D.; PATWARDHAN, Anand, et al. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 'reasons for concern'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009. doi:10.1073/pnas.0812355106.
- THE ROYAL SOCIETY. Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges. Policy Document 01/08. London: The Royal Society, 2008.

- UGARTE, D. G. De La Torre. Developing bioenergy: economic and social issues". In *Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges*, herausgegeben von P. Hazell und R. K. Pachauri. 2020 Focus 14. Washington, D.C.: IFPRI/Teri, 2006.
- WALTER, Arnaldo; ROSILLO-CALLE, Frank; DOLZAN, Paulo; PIACENTE, Erik und BORGES DA CUNHA, Kamyla. Perspectives on fuel ethanol consumption and trade. *Biomass and Bioenergy* 32 (8) (August): 730–748, 2008. doi:10.1016/j.biombioe.2008.01.026.
- DIE ZEIT, 18. August 2012. "Biokraftstoff E10 hat nie funktioniert". <http://www.zeit.de/wirtschaft/2012-08/biokraftstoff-e10-verbot>