

Politische und technologische Perspektiven für erneuerbare Energien

Henry França Meier, Inicyus Rodolfo Wiggers

Vorbemerkung

Die Suche nach erneuerbaren Energien, welche die Verwendung von Erdöl reduzieren oder ersetzen könnten, bringt Brasilien international in eine herausragende Position. Das Land hat eines der größten Programme für Biotreibstoffe als Ersatz für Benzin, wie beispielsweise die Produktion von Ethanol aus Rohrzucker als Biotreibstoff der ersten Generation seit den 70er Jahren. In letzter Zeit wurde ein ambitioniertes Programm zur Produktion von Biodiesel gestartet, der Diesel aus Erdöl ersetzen soll. Außerdem gewinnt Brasilien 90% seiner elektrischen Energie aus Wasserkraft. Die politischen Perspektiven versprechen einen Fortschritt in Richtung erneuerbarer Energien und räumen den wissenschaftlichen und technologischen Forschungsaktivitäten zur Produktion von Ethanol aus Zellulose erste Priorität ein, genauso wie der Produktion von Biotreibstoffen durch alternative Verfahren und der Konsolidierung der so genannten integrierten Bioraffinerien, die in der Lage sind, Biotreibstoffe der zweiten und dritten Generation in großen Mengen zu produzieren. Mit diesen strategischen Handlungen hat Brasilien vor, sich im Einklang mit dem Paradigma der Nachhaltigkeit zur Erhaltung des Planeten und der Menschheit als weltweite Referenz im Bereich der Bio-Energien zu konsolidieren.

1. Allgemeine Überlegungen

Ungefähr 80–90% der weltweiten Energiematrix stammen aus fossilen Brennstoffen, d.h. Erdöl, Erdgas und Steinkohle (Goldemberg 2006). In diesem Zusammenhang sind dem Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC 2007, S. 21; „Painel Intergovernamental das Nações Unidas“) zufolge die Treibhausgase (THG), welche bei der Verwendung von Brennstoffen entstehen, in erster Linie für den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur des Planeten verantwortlich. Im Fall des Kohlenstoffdioxids (CO₂) zum Beispiel wurde seit der vorindustriellen Epoche ein Anstieg der Konzentration im Bereich von 74% festgestellt, was direkt mit einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um 0,76°C in der gleichen Zeit korreliert (IPCC 2007, S. 4). Laut inter-

nationaler Energieagentur (IEA 2006, S. 41; „Agência Internacional de Energia“) wird die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre bis 2030 ungefähr um 1,7% jährlich steigen.

Kelly-Yong et al. (2007) und der International Energy Agency – IEA (2006, S. 41) zufolge sind die Elektrizitätskraftwerke die Hauptquellen der THG und verantwortlich für 41% der Emissionen auf dem Planeten. An zweiter Stelle kommt der Transportsektor mit 20% der Emissionen und an dritter Stelle der Industriesektor mit 18%. Der Rest fällt auf Dienstleistungen und andere Aktivitäten.

Außerdem hat man einen Anstieg des Pro-Kopf-Energiekonsums beobachtet. Dies geschieht aufgrund der Verbreitung von neuen Technologien und der Politik zur Vorantreibung des Zugangs von immer mehr Menschen zu elektrischem Strom und zu Konsumgütern, hauptsächlich in den Entwicklungsländern (Pereira 2008).

Also sind zur nachhaltigen Gestaltung der weltweiten Energieversorgung radikale Veränderungen der politischen Entscheidungen und der zukünftigen Technologien zur Produktion und Erzeugung von Energie notwendig (Jannuzzi 2005). In diesem Sinne stellt die Biomasse innerhalb der erneuerbaren Energiequellen zur Produktion von festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen im Einklang mit dem Paradigma der Nachhaltigkeit eine Alternative mit Potenzial dar.

Im Verlauf dieser Arbeit werden folgende Punkte angesprochen: ein Vergleich zwischen der brasilianischen und der weltweiten Energiematrix; die Verteilung der Quellen der nationalen Energiematrix; die politischen Programme zur Produktion von Biotreibstoffen der ersten Generation wie Ethanol und Biodiesel; und die technologischen Perspektiven zur Konsolidierung der Bioraffinerien mit vollständiger Integrierung von Biomasse.

2. Energetisches und politisches Panorama

Die weltweite Nachfrage nach Primärenergie ist stark auf den Gebrauch von fossilen Brennstoffen mit einem Anteil von 87,2% der Energiematrix konzentriert, während die erneuerbaren Energiequellen mit gerade einmal 12,7% beteiligt sind. Der IEA (2006, S. 37) zufolge wird ein Wachstum des weltweiten Energiekonsums von 1,6% pro Jahr bis 2030 erwartet, wobei dann die fossilen Brennstoffe immer noch 83% der weltweiten Energiematrix werden abdecken müssen. Tabelle 1 zeigt die Beteiligung einer jeden Quelle der weltweiten Energiematrix für das Jahr 2005,¹ anhand der man die geringe Beteiligung der erneu-

1 Jüngere Daten über die weltweite Nachfrage nach Primärenergie standen nicht zur Verfügung, als dieser Aufsatz verfasst wurde.

erbaren Quellen feststellen kann, explizit 10% für die Biomasse und 2,2% für Wasserkraft laut Ministerium für Bergbau und Energie (Ministério de Minas e Energia, MME 2008, S. 3). Ausgehend von den Daten der Tabelle 1 und verglichen mit der weltweiten Energienachfrage im Jahre 2004, stieg das Energieangebot um 2,06% an.

Brasilien ist der größte Energiekonsument in Lateinamerika mit einem Anteil von ca. 40% der regionalen Nachfrage, seine Energiematrix basiert allerdings auf Erdöl und erneuerbaren Quellen (IEA 2006). Laut der Nationalen Energiebilanz (Balanço Energético Nacional = BEN) 2007 (MME 2008) konnte Brasilien die Abhängigkeit seines internen Energieangebots von fossilen Brennstoffen von 54,9% auf 54,2% senken, was zu einer Energiematrix mit 45,8% erneuerbaren Energien führt und was verglichen mit dem Weltdurchschnitt von 12,7% einer der höchsten Nutzungsgrade ist. Tabelle 2 zeigt die Daten des internen Energieangebots, bei deren Betrachtung man feststellen kann, dass es einen Anstieg der Gesamtenergienachfrage von 5,4% gab, was mehr als der Weltdurchschnitt ist, und gleichzeitig einen Anstieg der Energie aus erneuerbaren Quellen von 7,2% und von 3,9% aus nicht erneuerbaren Quellen. Dieses Wachstum des Anteils erneuerbarer Energien an der Energiematrix ist dem aus Zuckerrohr gewonnenen Ethanol zu verdanken, welches die Wasserkraft überholt hat und zur größten erneuerbaren Energiequelle Brasiliens geworden ist. Dies zeigt, dass Brasilien wie ein Entwicklungsland – beziehungsweise mehr als der Weltdurchschnitt – wächst, jedoch ohne das Streben nach Nachhaltigkeit und die Suche nach erneuerbaren Energiequellen zu vernachlässigen. Da das interne Energieangebot die Verluste von Energie in der Größenordnung von 9,7% beim Vertrieb und bei der Transformation berücksichtigt, verbrauchte Brasilien im Jahr 2007 unterm Strich 215,1 Mtoe.²

Tab. 1: Weltweite Nachfrage nach Primärenergie (2005)

Spezifizierung	10 ⁶ Mtoe	%
Erdöl und Derivate	4.002,3	35,0
Erdgas	2.367,0	20,7
Steinkohle und Derivate	2.893,0	25,3
Nuklear	720,4	6,3
Wasserkraft	251,6	2,2
Biomasse	1.143,5	10
Andere Erneuerbare	57,2	0,5
Summe	11.435	100

Quelle: Ministerium für Bergbau und Energie 2008 (Ministério de Minas e Energia)

2 Megatonne Öleinheiten (tonelada equivalente de petróleo – tep).

Tab. 2: Internes Energieangebot

Spezifizierung	Tausend toe		07/06 (%)	Anteil (%)	
	2006	2007		2006	2007
<i>Nicht erneuerbare</i>	124.207	129.065	3,9	54,9	54,2
Erdöl und Derivate	85.287	89.224	4,6	37,7	37,4
Erdgas	21.716	22.239	2,4	9,6	9,3
Steinkohle und Derivate	13.537	14.340	5,9	6,0	6,0
Uran und Derivate	3.667	3.263	-11,0	1,6	1,4
<i>Erneuerbare</i>	101.880	109.263	7,2	45,1	45,8
Wasserkraft und Strom	33.537	35.506	5,9	14,8	14,9
Holz und Holzkohle	28.589	28.644	0,2	12,6	12,0
Zuckerrohrderivate	32.999	37.508	13,7	14,6	15,7
Andere erneuerbare Quellen	6.754	7.606	12,6	3,0	3,2
Summe	226.086	238.328	5,4	100,0	100,0

Quelle: Ministerium für Bergbau und Energie 2008 (Ministério de Minas e Energia)

Der industrielle Sektor ist für 37,8% des Energiekonsums verantwortlich, der Transportsektor für 26,7%, die Haushalte für 10,4% und 25,4% entfallen auf andere Sektoren. Der Anteil von Wasserkraft an der Energiematrix des elektrischen Stroms in Brasilien beträgt 85,2%, gefolgt von Thermoelektrizität durch Erdgas mit 3,6% und durch Biomasse mit 3,5% – im Gegensatz zum Weltdurchschnitt, der sich auf Thermoelektrizität durch Mineralkohle mit 40,3% und Erdgas durch 19,7% gründet und Wasserkraft nur 16% der Energiematrix beträgt (MME 2008). Brasilien lagert Thermoelektrizität in Form von Erdgas und Mineralkohle als eine Art „Backup“ für die Trockenzeit, wenn die Spiegel der Wasserspeicher der Wasserkraftwerke absinken.

Diese Daten machen Brasilien zu einem der wichtigsten Länder im Bereich der Erzeugung von Energie durch erneuerbare Quellen und mit der Unterstützung durch politische Programme, vor allem im Bereich der Biotreibstoffe³ soll Brasilien sich als weltweite Referenz auf diesem Gebiet konsolidieren. Die Biotreibstoffe haben den Vorteil, dass sie sowohl energetische Sicherheit bieten als auch die soziale Entwicklung und die Sorge um die Umwelt einbeziehen (Demirbas 2008).

Die Verwendung von Biotreibstoffen in Brasilien und auf der ganzen Welt beschränkt sich hauptsächlich auf die genannten der ersten Generation, das heißt, es handelt sich um Biotreibstoffe, die anhand von Prozessen mit niedriger technologischer Komplexität produziert werden und größtenteils aus angebauten

3 Mit *Biotreibstoff* ist jede Form von Treibstoff organischen und nicht fossilen Ursprungs gemeint, welche aus einer oder mehreren pflanzlichen Spezies, organischen Abfällen, Abfällen der Agrarindustrie oder auf anderen möglichen Wegen gewonnen wird.

Rohstoffen, wie beispielsweise das Ethanol, das aus Zuckerrohr gewonnen wird, und der Biodiesel⁴ aus pflanzlichen Ölen.

Das brasilianische Ethanol erlebte aufgrund der Erdölkrise eine sprunghafte Produktionssteigerung in den 70er Jahren durch das öffentliche Programm PROALCOOL (Goldemberg 2004). Zunächst wurde es statt Tetraethylblei als Antiklopfmittelzusatz in Benzin (wasserfreies Ethanol) gemischt und bald als Benzinersatz in Form von hydriertem Ethanol verwendet. Die Ethanolproduktion wuchs stark, bis sich der Erdölpreis bis Ende der 80er Jahre stabilisierte und zu einer Stagnation des Programms führte. Ein neuer sprunghafter Produktionsanstieg wurde durch die Einführung von Fahrzeugen mit Flex Fuel-Motoren ausgelöst, die sowohl mit Benzin als auch mit Ethanol angetrieben werden können (Atala 2004). Laut BEN 2007 (MME 2008) wurden 2007 über 22 Mio. m³ produziert, ein Wachstum um 27% gegenüber 2006, was auch durch die Anzahl der produzierten Flex Fuel-Fahrzeuge widerspiegelt wird, die 87% der Produktion von 2007 ausmachten (www.anfavea.com.br 2007, ANFAVEA⁵).

In Brasilien wird die Ethanolproduktion über den Anbau von Zuckerrohr abgewickelt, während sich in den USA die Produktion auf die Verwendung von Mais als Rohstoff konzentriert, wobei nicht weniger als 10% der weltweiten Produktion verbraucht werden. Mit anderen Worten: zwei komplette brasilianische Ernten (www.mda.gov.br 2008, Cassel). Somit sind die USA der größte Ethanolproduzent, gefolgt von Brasilien, jedoch werden hier die Ausweitung der Produktion und die Verwendung von Ethanol durch den Markt diktiert, der das enorme Potenzial dieses Treibstoffs für die Welt entdeckt hat, insbesondere seine Einführung in Europa (Szklo 2007). Der großflächige Anbau von Monokulturen kann jedoch negative Einflüsse auf die Biodiversität, das Wasser und den Boden haben. Dies muss in den politischen Programmen berücksichtigt werden (Goldemberg 2008).

In der Mitte des Jahres 2003 wurde in Brasilien eine interministerielle Arbeitsgruppe gegründet, um die Möglichkeit der Verwendung von Ölen, Fetten und ihrer Derivate als Treibstoffe zu bewerten und die nötigen Schritte zur Einführung aufzuzeigen. Ende 2004 startete die brasilianische Regierung das Nationale Programm zur Verwendung von Biodiesel (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel = PNPB), dessen Ziel es ist, die ökonomische Machbarkeit der Produktion von Biodiesel unter Einbeziehung sozialer Fragen und der Weiterentwicklung einzelner Regionen zu garantieren. Im Januar wurde das Gesetz Nr. 11.097 vom 13/01/2005 verabschiedet. In diesem Gesetz wird *Bio-*

4 Mit *Biodiesel* sind die Alkylester aus Fettsäuren gemeint, welche aus pflanzlichen Ölen und/oder aus tierischen Fetten gewonnen werden, und die durch Veresterungs- und Transveresterungsreaktionen hergestellt werden.

5 ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Nationaler Verband der Produzenten von motorisierten Fahrzeugen).

diesel definiert als Biotreibstoff aus Biomasse für die Verwendung in Verbrennungsmotoren, der durch Veresterung, Umveresterung oder Pyrolyse gewonnen wird. Die Verordnung ANP Nr. 42 regelt jedoch nur die Verwendung von Estern aus Fettsäuren als Biodiesel (Pousa 2007). Das Gesetz ermöglichte optional die Verwendung von B2 (2% von Biodiesel im Diesel) bis zum Jahre 2008, in dem der Zusatz Pflicht wurde. Bis zum Jahre 2013 ist die Beimischung von B5 optional, danach wird sie ebenfalls Pflicht. Diese Strategie der Prozentsätze wurde mit dem Ziel ausgewählt, den Markt zu stimulieren und seine Strukturierung zu garantieren. PETROBRAS⁶ sollte über Auktionen der ANP⁷ den durch das Gesetz 11.097 vorgesehenen nötigen Ankauf von Biodiesel sicherstellen, sofern die Qualitätsstandards der Verordnung ANP Nr. 42 erfüllt werden.

Brasilien verfügt über eine Vielzahl von Quellen für pflanzliche Öle, zu welchen Soja, Rizinus, Baumwolle und andere gehören, und ist der zweitgrößte Sojaölproduzent der Welt. Es wurden finanzielle Anreize für Kleinbauern zur Herstellung von Biodiesel mit dem Ziel der Weiterentwicklung verschiedener Regionen vorgesehen. Zurzeit konzentriert sich die Produktion jedoch auf den Gebrauch von Soja als Rohstoff, weil hier die Produktionskette schon strukturiert ist, und auf den Gebrauch von Methanol, welches leichter zu gewinnen ist als Ethanol. 2007 betrug die Biodieselproduktion der Nationalen Agentur für Erdöl zufolge 402.142 m³ (www.anp.gov.br).

Angesichts der aktuellen Preissteigerungen bei Lebensmitteln bestehen immer noch Herausforderungen zur Konsolidierung des Biodiesel-Programms, während die Verwendung von Ethanol als Zusatz und als Treibstoff zum Wachstum tendiert und seine Transformation in eine „commodity“ unausweichlich ist. Trotzdem sind weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung neuer Technologien nötig, um die Produktionsprozesse der zweiten Generation von Biotreibstoffen auf den Weg zu bringen, wie beispielsweise die Pyrolyse, die Kohlevergasung, die Hydrolyse und die Fischer-Tropisch-Synthese (Szklo 2007). Außerdem ist es nötig, die dezentrale Nutzung von Energie zu unterstützen, um die Leistungsfähigkeit und die Autonomie kleiner Regionen zu maximieren, Familienbetriebe zu stärken und die Auswirkungen der Preissteigerungen bei Lebensmitteln einzudämmen.

6 Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A. ist ein Unternehmen der gelenkten Volkswirtschaft, an dem die Regierung die Mehrheit der Aktien hält.

7 ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (Nationale Agentur für Erdöl, Gas und Biotreibstoffe): Sie ist das Organ, das den brasilianischen Treibstoffmarkt regelt.

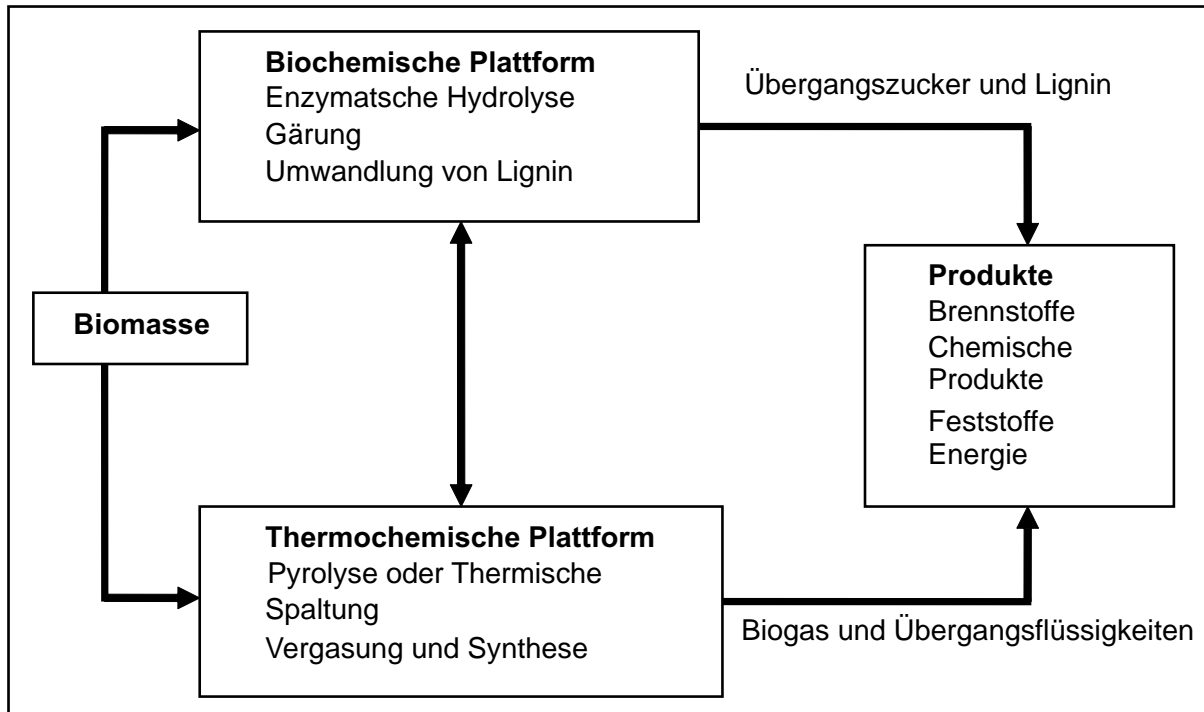
3. Technologische Perspektiven für die Biomasse

In Bezug auf die technologischen Perspektiven zur Produktion von Biotreibstoffen müssen die politischen Programme zur Unterstützung des Gebrauchs von Biomasse als Rohstoff für die Produktion der bereits erwähnten Biotreibstoffe der zweiten Generation fortgesetzt werden. Mit anderen Worten: Dies sind diejenigen, die durch hochgradig komplexe Technologien produziert werden und deren Rohstoff hauptsächlich aus Resten anderer Anbaukulturen besteht.

Die Kombination dieser Prozesse mit denen der ersten Generation würde die Prozesse der dritten Generation bilden, das heißt integrierte Bioraffinerien, ähnlich den Erdölraffinerien, jedoch nicht identisch. Abbildung 1 zeigt die Idealisierung eines Flussdiagramms einer Bioraffinerie mit allgemein integrierter Biomasse (Schell 2008).

Die technologischen Forschungen sind also gerichtet auf die Produktion von: Ethanol, das aus auf Lignincellulose basierter Biomasse gewonnenen wird; synthetische Biotreibstoffe, hergestellt durch synthetische Gärung oder Katalyse von Synthesegas;⁸ Biotreibstoffe, welche durch Pyrolyse oder thermische Spaltung von Biomasse hergestellt werden.

Abb. 1: Flussdiagramm einer integrierten Bioraffinerie



(überarbeitet nach Schell 2008)

8 Das Synthesegas setzt sich zusammen aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff ($\text{CO} + \text{H}_2$) und wird durch teilweise Oxidation der Biomasse (Vergasung) gewonnen.

In Brasilien gibt es bereits laufende Forschungen zur Produktion von celluloseischem Ethanol aus Zuckerrohrtrester unter Anwendung eines Prozesses, bei dem die Moleküle von Enzymen gespalten werden. So wird versucht, die Produktion von Alkohol zu verdoppeln, welche zurzeit im Bereich von 9.400 Litern pro Hektar Zuckerrohr liegt (Carvalho 2007).

Der Prozess zur Vergasung von Biomasse zur Produktion von Synthesegas hat sich als viel versprechende Technik erwiesen. Mit Synthesegas können durch Gärung Ethanol und Dimethylether (DME)⁹ gewonnen werden sowie viele weitere Bioverbindungen durch katalytische Synthese, wie von Spath und Dayton (www.nrel.gov 2003) dargestellt.

Die Synthese durch Gärung, die auf die biochemischen Verfahren zur Produktion von Ethanol und DME beruht, ermöglicht eine hohe Selektivität bei der Gewinnung der Endprodukte, allerdings sind Probleme bezüglich der Produktivität und der Pathogenität der Bakterien (es handelt sich um die Gattung *Clostridium*) zu einer großen Herausforderung bei der Ausweitung des Produktionsmaßstabs geworden. Hingegen ist die Bedeutung von Katalyseverfahren zur Umwandlung von Synthesegas wegen der Möglichkeit zur Diversifizierung der erzeugten Produkte gestiegen.

Die Probleme, die mit der Reinigung des Synthesegases zusammenhängen, können jedoch auch zu einer Verunreinigung der Produkte führen und dazu, dass die eingesetzten Katalysatoren zu frühzeitig deaktiviert werden. Diese Prozesse befinden sich allerdings noch in einer sehr frühen Phase der Erforschung und der technologischen Entwicklung und benötigen weitere Investitionen, um die technologische Reife zu erlangen und um sie ökonomisch durchführbar zu machen. In diesem Sinne erweist sich die Pyrolyse als durchführbare technologische Alternative für die Konsolidierung der Bioraffinerien.

Demibras (2007) führt an, dass alle Prozesse der Umwandlung von Biomasse in Energie wichtig sind und der Prozess der thermischen Spaltung (Pyrolyse) die wichtigste Technik zur thermischen Umwandlung von Biomasse darstellt. Maher und Bressler (2007) weisen darauf hin, dass, obwohl es sich hierbei um eine der vielversprechendsten Technologien zur Produktion von Biotreibstoffen handelt, es jedoch immer noch an Studien diesbezüglich mangelt. Der Prozess der thermischen Spaltung oder der Pyrolyse ist definiert als die chemische Veränderung durch Wärmeeinwirkung (Baum 1974). Mit anderen Worten: Es ist ein Zersetzungs- oder Zerfallsprozess durch Einwirkung von Wärme und/oder Katalysatoren in freier Sauerstoffatmosphäre (Rosillo-Calle 2005), in dem die Kohlenstoffketten in kürzere Kettenstücke gespalten werden (Demirbas 2007).

9 DME wird als Biotreibstoff der Zukunft betrachtet (Jin et al. 2007), da es ähnliche Eigenschaften wie Flüssiggas aufweist.

Die Anwendung der thermischen Spaltung ist eine gute Alternative bei der Produktion von erneuerbarer Energie ausgehend von Restbiomasse als Rohstoff, welche sowohl aus Lignocellulosezusammensetzungen als auch aus Triglyceriden bestehen. Als Hauptprodukte erhält man eine gasförmige Fraktion, bekannt als Bio-Gas,¹⁰ eine flüssige Fraktion, genannt Bio-Öl,¹¹ und eine feste Fraktion.¹²

Auf internationaler Ebene wurden zahlreiche Untersuchungen zur Nutzung des Prozesses der thermischen Spaltung durchgeführt, so etwa Bockhorn et al. (1998); Pakdel (1991); Bridgwater (1996); Idem (1997); Karaosmanoglu (1999); Rocha et al. (2002); Bridgwater (2003); Luo et al. (2004); Adebajo (2005); Antonakou et al. (2006); Kaminsky (2006); Bridgwater (2006); Maher (2007); und Zhang (2007). Diese Autoren verwendeten Biomasse, organische Abfälle und Kunststoffreste und zeigten das enorme Potenzial des Spaltungsprozesses, besonders weil die Reaktion autothermisch ablaufen kann. Dies ist eine Voraussetzung für die Verwendung einer Fraktion der Produkte als Energiequelle.

In Brasilien arbeiten verschiedene Forschungsgruppen auf diesem Gebiet. Unter anderen sind hier die Forschungsgruppen der Universidade de Brasilia, der Universidade Estadual de Campinas und der Universidade Regional de Blumenau zu nennen. Die Pyrolyse von Biomasse aus Lignocellulosen in einem Fließbettreaktor war Gegenstand der Studie von de Rocha et al. (2002), in der die Realisierbarkeit des Prozesses gezeigt wurde. Lima et al. (2004) zeigten, dass es möglich ist, Diesel aus den pflanzlichen Ölen von Soja, Ölpalme und Rizinus zu gewinnen. Wiggers (2007) führt die fortlaufende Produktion von Biotreibstoffen aus Triglyceriden wie Sojaöl, Frittieröl, Fisch- und Vogelöl bestehender Biomasse vor und erhält daraus „grünes“ Benzin und „grünes“ Diesel mit einem Ertrag von 25% bzw. 45%, je nach eingespeister Biomasse. Die Aufstellung der Bilanzen von Masse und Energie bestätigte die Möglichkeit der Verwendung von Biogas, etwa 30% der eingespeisten Biomasse, als Energiequelle für den Prozess mit dem Ergebnis eines Energieanteils von über 80%.

10 Biogas setzt sich unter anderem zusammen aus Wasserstoff, Methan, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid, hat einen hohen Heizwert und Potenzial zur Verwendung als Rohstoff in den Prozessen, die auf der Fischer-Tropsch-Synthese zur Produktion von Alkanen aufbauen (Boerrigter et al. 2002).

11 Bioöl besteht aus hunderten von chemischen Bestandteilen, wie Essigsäure, Azeton, Methanol, verschiedenen Phenolen, Kohlenwasserstoffen, Aldehyden, Alkoholen und Carbonsäuren, deren quantitative Verteilung stark von der Zusammensetzung der verwendeten Biomasse und von den Reaktionsbedingungen abhängt. Es hat Potenzial als Rohstoff für Bio-Brennstoff-Raffinerien, um Diesel und Benzin fossiler Herkunft zu ersetzen und als Vorläufer der Feinchemikalienproduktion als Ersatz der traditionellen Vorläufer, die von der Petrochemie hergestellt werden (Demibras 2008).

12 Die feste Fraktion, die bei der thermischen Spaltung entsteht, besteht hauptsächlich aus Kohlenstoff (Kohle) und reaktionsträgen Stoffen aus der ursprünglichen Biomasse.

Obwohl die Forschungen zur Entwicklung der Technologie für die thermische Spaltung oder Pyrolyse (von Biomasse, festen Abfällen von Städten, Kunststoffabfällen und agroforstwirtschaftlichen Abfällen) sich noch in ihrer Pilotphase befinden, muss diese als vordringlichste Technologie für die entwickelten Länder und für die Schwellenländer (Demirbas 2008) gelten. Bis zu ihrer Entwicklung auf einen industriellen Maßstab deutet sich eine Dezentralisierung der Energieproduktion an, was dazu führt, dass die Müllentsorgung an die Brennstoffproduktion gekoppelt wird und so eine nachhaltige Entwicklung der verschiedenen Regionen ermöglicht.

4. Perspektiven der Wind- und Solarenergie

In Brasilien wird Wind- und Solarenergie nur in reduziertem Umfang genutzt, besonders, wenn man die Möglichkeiten in Brasilien bedenkt. Martins et al. (2008) finden hohe Werte für die Sonneneinstrahlung im semiariden Teil des brasilianischen Nordostens, wo das trockene Klima und die vielen Stunden von unbedecktem Himmel zu Werten von $6,5 \text{ kWh/m}^2$ pro Tag führen. Es wurde festgestellt, dass es in allen Regionen Brasiliens Orte mit höherer Sonneneinstrahlung als der vieler europäischer Länder gibt, in welchen Projekte zur Gewinnung von Solarenergie umgesetzt werden. Trotzdem ist die Verwendung von Photovoltaikenergie in Brasilien verschwindend gering.

Im Jahre 2001 wurde in Brasilien das Programm zur Förderung von Alternativen Quellen für Elektrische Energie (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA) ins Leben gerufen. Darin war neben anderen Energiequellen die Installation von 1.100 MW aus Windenergie vorgesehen (Lissela/Krauter 2006). Von diesen wurden nur 28,5 MW tatsächlich installiert (Ruiz 2007). Laut BEN 2007 (MME 2008) wuchs die Nutzung von Windenergie von 2006 bis 2007 um 135,9% an und trug somit 559 GWh zur nationalen elektrischen Energie bei. Die brasilianische Windenergie bedarf noch weiterer Subventionen, denn die kWh ist teurer als die der anderen Energiequellen, und außerdem haben die Kosten der importierten Gerätschaften die Initiativen von privaten Investoren vor Schwierigkeiten gestellt (Araújo/Freitas 2008). Die Abbildung 2 zeigt eine photographische Aufnahme einer Windkraftanlage bei Água Doce im Bundesstaat Santa Catarina.

Abb. 2: Windkraftanlage am Horizont



Quelle: Wobben Windpower (2008)

5. Schlussfolgerungen

Brasilien ist eines der Länder mit der höchsten Verbrauchsrate von erneuerbaren Energiequellen und sollte diese Strategie zur Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl mit der systematischen und progressiven Verwendung von Biomasse als Rohstoff fortsetzen. Dies sollte sowohl bei der Produktion von Biotreibstoffen als auch bei der Produktion von Bioverbindungen, die die aus Erdöl hergestellten chemischen Produkte ersetzen könnten, geschehen.

Trotz des Wachstums der Energieproduktion aus Windkraft in Brasilien ist ihr Anteil an der Energiematrix verschwindend gering. Durch die Verringerung der Kosten für Gerätschaften und adäquate politische Programme soll ihre Verwendung jedoch weiterhin wachsen.

Die Verwendung von Biomasse aus Abfällen als Erdöl ersetzenden Rohstoff verbindet die Entsorgung von Abfällen mit der Produktion von Biotreibstoffen und anderen Bioverbindungen. Dies begünstigt die Tatsache, dass angebaute Biomasse nicht zur Nahrung verarbeitet wird, wie beispielsweise die Mais- oder Sojakulturen, sondern zur Herstellung von Biotreibstoffen.

Mit dem Bau kleiner Bioraffinerien in Regionen, in denen Biomasse als Abfall entsteht, deutet sich die Dezentralisierung der Energieproduktion an. Außerdem ermöglicht dies eine Anpassung an die ökonomischen Veränderungen der Globalisierung, an den Mangel von nicht erneuerbaren Rohstoffen und an die eminenten klimatischen Veränderungen des Planeten.

Die Verwendung von Biomasse zur Produktion von Energie, verstanden als ein natürliches Reservat der in chemischen Verbindungen gespeicherten Sonnenenergie, kommt dem Paradigma der Nachhaltigkeit entgegen. Deshalb zeich-

net sich bei intensiver Nutzung von Biomasse Folgendes ab: Reduktion der atmosphärischen Emissionen von fossilem Kohlenstoff, Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl, Zunahme der regionalen Autonomie; Zunahme von Arbeitsplätzen und Lohnverteilung; indessen muss ihre Nutzung von der ökonomischen Machbarkeit und einem geringen Umwelteinfluss abhängig gemacht werden, verbunden mit einem stabilen Nachschub und Maßstab, neben weiteren nötigen Aspekten der Nachhaltigkeit des Lebens, wie wir es auf dem Planeten kennen.

Literatur

- Adebanjo, A. O./Dalai, A. K./Bakhshi, N. N. 2005: Production of diesel-like fuel and other value-added chemicals from pyrolysis of animal fat. *Energy & Fuels*
- Antonakou, E./Lappas, A./Nilsen, M. H./Bouzga, A./Stöcher M. 2006: Evaluation of various types of Al-MCM-41 materials as catalysts in biomass pyrolysis for the production of biofuels and chemicals. *Fuel*
- Araújo, M. S. M./Freitas, M. A. V. 2008: Acceptance of renewable energy innovation in Brazil – case study of wind energy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*
- Atala, D. I. P. 2004: Montagem, instrumentação, controle e desenvolvimento experimental de um processo fermentativo extrativo de produção de etanol. Campinas, SP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (Dissertation)
- Baum, B./Parker, C. H. 1974: *Solid Waste Disposal Volume 2 Reuse, Recycle and Pyrolysis*. Arbor Science Publishers Inc.
- Bockhorn, H./Hornung, A./Hornung, U. 1998: Stepwise pyrolysis for raw material recovery from plastic waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*
- Bridgwater, A. V. 1996: Production of high grade fuels and chemicals from catalytic pyrolysis of biomass. *Catalysis Today*
- Bridgwater, A. V. 2003: Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*
- Bridgwater, T. 2006: Review biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*
- Carvalho, L. C. C. 2007: „Biomass and Energy Agribusiness“ XXV Encontro Brasil-Alemanha. Blumenau-SC
- Demirbas, A. 2007: Progress and recent trends in biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science*
- Demirbas, A. 2008: Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*
- Goldemberg, J./Coelho, S. T./Plínio, M. N./Lucond, O. 2004: Ethanol learning curve – the Brazilian experience. *Biomass and Bioenergy*
- Goldemberg, J. 2006: The promise of clean energy. *Energy Policy*

- Goldemberg, J./Coelho, S. T./Guardabassi, P. 2008: The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*
- Idem, R. O./Katikaneni, S. P. R./Bakhshi, N. N. 1997: Catalytic conversion of canola oil to fuels and chemicals: roles of catalyst acidity, basicity and shape selectivity on product distribution. *Fuel Processing Technology*
- IEA – International Energy Agency 2006: *World Energy Outlook 2006*. Paris
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: *Climate change 2007: The Physical Science Basis*
- Jannuzzi, G. D. M. 2005: Power sector reforms in Brasil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. *Energy Policy*
- Jin, D./Zhu, B./Hou, Z./Fei, J./Lou, H./Zheng, X. 2007: Dimethyl ether synthesis via methanol and syngas over rare earth metals modified zeolite Y and dual Cu-Mn-Zn catalysts. *Fuel*
- Kaminsky, W./Scheirs, J. 2006: *Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics*. John Wiley & Sons Ltd.
- Karaosmanoglu, F./Tetik, E./Göllü, E. 1999: Biofuel production using slow pyrolysis of the straw and stalk of the rapeseed plant. *Fuel Processing Technology*
- Kelly-Yong, T. L./Lee, K. T./Mohamed, A. R./Bhatia, S. 2007: Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide. *Energy Policy*
- Kissela, J. M./Krauter, S. C. W. 2006: Adaptations of renewable energy policies to unstable macroeconomic situations – Case study: Wind power in Brazil. *Energy Policy*
- Lima, D. G./Soares, V. C. D./Ribeiro, E. B./Carvalho, D. A./Cardoso, E. C. V./Rassi, F. C./Mundim, K. C./Rubim, J. C./Suarez, P. A. Z. 2004: Diesel like fuels obtained by pyrolysis of vegetable oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*
- Luo, Z./Wang, S./Liao, Y./Zhou, J./Gu, Y./Cen, K. 2004: Research on biomass fast pyrolysis for liquid fuel. *Biomass and Bioenergy*
- Pakdel, H./Roy, C. 1991: Hydrocarbon content of liquid products and tar from pyrolysis and gasification of wood. *Energy & Fuels*
- Pereira Jr., A. O./Soares, J. B./Oliveira, R. G./Queiroz, R. P. 2008: Energy in Brazil: Toward sustainable development? *Energy Policy*
- Pousa, P. A. G./Santos, A. L. F./Suarez, P. A. Z. 2007: History and policy of biodiesel em Brazil. *Energy Policy*
- Maher, K. D./Bressler, D. C. 2007: Production of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals. *Bioresource Technology*
- MME 2007: *Balanco Energético Nacional 2007 – Resenha Energética Brasileira: Resultados Preliminares*. Ministério de Minas e Energia, Brasil
- Rocha, J. D./Gómez, E. O./Pérez, J. M. M./Cortez, L. A. B./Seye, O./González, L. E. B. 2002: The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in Brazil. *World Renewable Congress VII*
- Rosillo-Calle, F./Bajay, S. V./Rothman, H. 2005: *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Editora da Unicamp, Campinas, SP
- Ruiz, B. J./Rodríguez, V./Bermann, C. 2007: Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil. *Energy Policy*

- Schell, C./Riley, C./Petersen, G. R. 2008: Pathways for development of a biorenewables industry. *Bioresource Technology*
- Szklo, A./Schaeffer, R./Delgado, F. 2007: Can one say ethanol is a real threat to gasoline? *Energy Policy*
- Wiggers, V. R. 2007: Produção de biocombustíveis por craqueamento térmico de óleos e gorduras. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Tese de doutorado
- Zhang, Q./Chang, J./Tiejun, W./Ying, X. 2007: Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management*

Internetverzeichnis

- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2008: Dados estatísticos (online: www.anp.gov.br; Zugriff im April 2008)
- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores 2008: Dados estatísticos (online: www.anfavea.com.br; Zugriff im April 2008)
- Boerrigter, H./Den Uil, H./Calis, H.P. 2002: Green diesel from biomass via Fischer-Tropsch synthesis: New insights in gas cleaning and process design. *Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste, Expert Meeting, Strasborg France* (online: http://www.senter-novem.nl/mmfiles/28277_tcm24-124223.pdf; Zugriff im Februar 2007)
- Cassel, G. 2008: O Brasil e a crise mundial de alimentos (online: www.mda.gov.br; Zugriff am: 06.05.2008)
- Spath, P. L./Dayton, D. C. 2003: Preliminary screening-Technical and economic assessment of synthesis gas to fuels and chemicals with emphasis on the potential for biomass-derived syngas. Nrel Tp-510-34929 (online: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34929.pdf>; Zugriff am: 13.05.2008)
- Wobben Windpower – Indústria e Comercio Ltda (online: www.wobben.com.br/usinas_SC; Zugriff im September 2008)