

# Erneuerbare Energien in Deutschland

*Gerhard Goldmann, Barbara Hinding*

## 1. Einleitung

Der Einsatz erneuerbarer Energien wird aus verschiedensten Anforderungen dringend notwendig: Der stetig zunehmende Energiebedarf in Deutschland, die Vielfalt an Problemen, wie Klimafaktoren, Umweltbelastungen herkömmlicher Kraftwerkstechniken mit fossilen Brennstoffen, die Zukunftsfähigkeit unserer energiepolitischen Entscheidungen sowie weiterer Faktoren wie volkswirtschaftlichen Subventionsinstrumenten, der Ausstieg aus der Atomkraft und die wachstumsförderliche Innovationskraft deutscher Unternehmer. Der bundesdeutsche Prozess zum Einsatz erneuerbarer Energien ging über mehrere überlappende Prozessphasen, ursprünglich aus der technischen Optimierung konventioneller Energietechnik zu innovativen Konzepten der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung, über die spezifische Nutzung alternativer Brennstoffe und die Entwicklung spezieller regenerativer Energietechniken zu neuen Planungen alternativer Gesamtenergieversorgungskonzepte. Die daraus resultierende historische Entwicklung der Anteile des Einsatzes erneuerbarer Energietechniken zur Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland ist kennzeichnend für ein kontinuierliches Wachstum, das sich trendhaft fortsetzen dürfte. Dabei werden der Brennstoffzellentechnik sowie den technischen Verbesserungen vorhandener erneuerbarer Energietechniken für neue Einsatzzwecke zentrale Entwicklungspotenziale in Deutschland zugeschrieben.

## 2. Problemaufriss

Unterschiedliche Energieformen aufzufinden und für die Zivilisation nutzbar zu machen, hat seit der Urzeit für den Menschen eine zentrale Bedeutung. In unserem aktuellen Zeitalter sind die unterschiedlichen Energieformen, die zur Verfügung stehen, von besonderer Wichtigkeit. Energie ist eine grundlegende Ressource für Wohlstand, Sicherheit und Unabhängigkeit. Sie treibt Maschinen an, befördert Menschen, ermöglicht die Zubereitung von Nahrung, spendet Wärme und Licht, unterstützt den Zugang und die Aufbereitung von Informationen und erspart Zeit. Eine Lebensform ohne sie ist für uns undenkbar, weltweit stehen wir vor einer immer weiter steigenden Nachfrage nach verschiedensten Energieformen. Dieser „Hunger“ nach Energie ist als trendhaft auch, und nicht nur, in

Deutschland zu kennzeichnen, insbesondere seit Beginn der Industrialisierung des Hochtechnologielandes. Die heutige Energieversorgung bringt allerdings zahlreiche, öffentlich viel diskutierte, Probleme mit sich.

„Das dringendste Problem der Technologie von heute ist nicht mehr die Befriedigung von Grundbedürfnissen und uralten Wünschen der Menschen, sondern die Beseitigung von Übeln und Schäden, welche uns die Technologie von gestern hinterlassen hat.“ (Dennis Gabor<sup>1</sup>, 1900–1979, ungarisch-britischer Physiker, Entwickler der Holographie, 1971 Nobelpreis)

Die Verbrennung fossiler Energierohstoffe wie Kohle, Öl und Erdgas setzt Schadstoffe und Kohlendioxide (CO<sub>2</sub>) frei (ASUE 1999). Die Folgen sind bekannt: Stickoxide verursachen den so genannten „sauren Regen“ und sind für das Waldsterben verantwortlich, Kohlendioxide wirken als „Klimagase“ und können zu weit reichenden Veränderungen des bundesdeutschen wie Weltklimas führen. Wir können vermehrt Stürme und Hochwasserereignisse sowie andere Naturkatastrophen grenzüberschreitend in den verschiedenen politisch-geographischen Rechtsräumen wie Deutschland, dem europäischen Raum und der Welt insgesamt beobachten.

Zudem sind die heutigen fossilen Energierohstoffe laut BMU (2008) generell rückläufig, wie eine Vielzahl europäischer wie bundesdeutscher Studien belegt. Es gibt bezüglich der Reichweite fossiler Reserven und Ressourcen wie Erdöl, Erdgas, Uran und weiterer elementarer biologischer Stoffe erhebliche Divergenzen in der Einschätzung der zeitlichen Reichweite bei konstantem bzw. steigendem Bedarf des jeweiligen Stoffes (statische und dynamische Lebensdaueranalysen) innerhalb Deutschlands, Europas und der gesamten Welt (Quaschnig 2006). Im gemeinsamsten Nenner lassen sich die Studien darauf zusammenführen, dass die Notwendigkeit alternativer und unbegrenzter Energierohstoffe in ihrer Bedeutung extrem zunimmt.

Als eine der Lösungsoptionen dieser Rohstoffknappheit und weiterer Faktoren wie Umweltaspekte ist der Einsatz erneuerbarer Energien anzusehen, synonym zum regenerativen Energiebegriff zu bezeichnen. Er kennzeichnet Energieformen aus nachhaltigen Quellen, die nach menschlichem Ermessen als unerschöpflich anzusehen sind (ebd.). Sie liegen in unterschiedlichen Formen von Biomasse (beispielsweise Pflanzenöl, Biogas, Holz, Biodiesel, Bioethanol, Biowasserstoff), Windenergie, Wasserkraft, Sonneneinstrahlung und Erdwärme vor.

---

1 Siehe [www.zitate.de/kategorie/Technik/](http://www.zitate.de/kategorie/Technik/)

### 3. Historische Entwicklungsschritte

Der Prozess der letzten Jahrzehnte, der einerseits der rasanten Nachfrage nach Energie im zunehmend energieintensiven Industrieumfeld und andererseits den bundesdeutschen Bemühungen um Klimaschutz Rechnung trägt, kann in mehrere Prozessstufen kategorisiert werden (Goldmann 2007):

1. Technische Optimierung konventioneller Technik
2. Konzepte der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung
3. Nutzung alternativer Brennstoffe
4. Entwicklung spezieller regenerativer Energietechniken
5. Planung neuer Gesamtenergieversorgungskonzepte

Seit den 1970er Jahren wurden in Deutschland verstärkt verschiedenste konventionelle Anlagen, wie beispielsweise die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (Suttor 2005), technisch soweit ausgereift, dass sie messbar zum deutschen Klimaschutz beitragen. Durch die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom sind sie unbestritten eine ressourcenschonende Art der Nutzenergiebereitstellung auf konventioneller Art geworden. Sie ermöglichen bei gleichem fossilem Brennstoffeinsatz höhere Wirkungsgrade und dadurch mehr Energiegewinn.

Auf der Grundlage der klimatischen Bedingungen wird in Deutschland etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs für das Beheizen von Gebäuden aufgewendet (BMU 2008). Dies ist eine beträchtliche Größe, die geradezu dazu herausfordert, Einsparungen und Effizienzverbesserungen sinnvoll durchzuführen. Energieeffizienz ist heute in allen Bereichen der Gesellschaft ein wichtiges und etabliertes Thema. Letztendlich bedeutet Energieeffizienz auch eine Reduzierung von klimarelevanten Emissionen und damit praktizierten Klima- und Umweltschutz, was in breiten Teilen der deutschen Bevölkerung belegt (Hinding 2002) im Bewusstsein ist.

Die aus konventioneller Technik entwickelte Nutzung alternativer Brennstoffe wie beispielsweise CNG (Compressed Natural Gas) und LNG (Liquid Natural Gas) zur Fortbewegung oder der Einsatz eines herkömmlichen oder modifizierten Pflanzenöls zum Betreiben eines BHKWs (Blockheizkraftwerk) wirkte außerdem der wachsenden Abhängigkeit von Öl und Gas entgegen.

Beginnend in den 70ern wurden durch Initialentwicklungen in verschiedene technologische Richtungen parallele Bemühungen begonnen, regenerative Energien mittels speziell entwickelter Techniken zu nutzen. Allgemein sind in Deutschland in technologischer Entwicklung und industriell relevanten Größenordnungen folgende regenerative Energietechniken bedeutsam geworden (Quaschnig 2006):

1. Wasserkraftwerke
2. Windkraftanlagen

3. Biomasse- und Biogasanlagen
4. Photovoltaik
5. Geothermische Anlagen
6. Solarthermische Anlagen

Vielfach auf Basis herkömmlicher Technik bzw. systemtechnischer Modulbausteine wurden technische Anlagen konzeptualisiert, die erneuerbare Energien technisch nutzbar machen. Es wurden verschiedene Prototypen an Windkraftanlagen zur technischen Nutzung der Windkraft entwickelt. Es wurden Biogasanlagen entwickelt zur Nutzung des energiereichen Methangases, es wurde mittels Tiefbohrungsanlagen Erdwärme und die Sonneneinstrahlung direkt und indirekt nutzbar gemacht. Die direkte Sonneneinstrahlung wurde mittels PV-Modulen direkt zur Stromerzeugung verwandt und in so genannten Sonnenkollektoren zur Erzeugung von warmem Wasser für den Hausgebrauch eingesetzt.

Um den Klima- und Umweltproblemen konkret entgegenzuwirken, werden heute verstärkt regenerative Energietechniken eingesetzt und staatlich subventioniert. Ein Beispiel dafür ist das deutsche EEG (Energieeinspeisungsgesetz), das die Einspeisung von so genanntem „Solarstrom“ mit gesetzlich garantierten Sätzen vergütet. Hierdurch wurde maßgeblich die Nachfrage nach regenerativen Energietechniken zur Stromerzeugung unterstützt und damit ein gesamtes Technologiefeld erschlossen. Heute sind verschiedene Entwicklungsgenerationen an regenerativen Energietechniken erfolgreich im deutschen, europäischen und Weltmarkt. Sie befinden sich in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus. Deutschland ist in verschiedensten relevanten regenerativen Energietechniken Weltmarktführer und hält eine Vielzahl von Schlüsselpatenten in diesem Bereich (Quaschnig 2006).

Als zentraler Nebeneffekt ist zudem das Anwachsen des spezifischen Arbeitsmarktes in diesem Bereich zu sehen. Die Branche Erneuerbare Energien hat in Deutschland im Jahre 2006 schätzungsweise 235.000 Arbeitnehmer in Deutschland beschäftigt, laut BMU sind die arbeitsplatzintensivsten Bereiche die Bioenergiebranche, die Wind- und die Solarenergiebranche. Es wird im nächsten Jahrzehnt ein weiteres Wachstum auf circa 400.000 Arbeitnehmer im Bereich erwartet (BMU 2008).

Es ergeben sich aus dem Wachstumsmarkt erneuerbare Energietechnik in Deutschland zudem energiewirtschaftlich alternative Gesamtkonzepte, wie dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme, um nachfragenah spezifische Energiebedürfnisse zu befriedigen. Eine Vielzahl von Argumenten spricht für ein regionales Energieversorgungskonzept. Deutschland ist ein relativ kleines Land, das sich im Nord-Süd-Durchmesser „nur“ rund 1.200 km erstreckt. Infrastrukturelle Ersparnisse und lokale Gegebenheiten, wie günstige Windverhältnisse an der Nordsee (über 4,5 Bf. zur wirtschaftlichen Nutzung der Windkraft geeignet)

oder flussreiche Gebiete zur Nutzung von Wasserkraft, begünstigen den Einsatz spezieller Techniken zur Energiebereitstellung. Der gesellschaftspolitische Prozess weg vom konventionellen zentralen Energieversorgungskonzept ist in vollem Gange und nicht entschieden (Goldmann 2007). Eine Vielzahl relevanter politischer und politisch wirksamer Aktanten wie Kraftwerksbetreiber, Gasversorger und Netzbetreiber profilieren ihre privatwirtschaftlichen Interessen in den bundesdeutschen politischen Entscheidungsgremien. Dies führt zu einem divergierenden Gesamtprozess in den Vorstellungen eines gesamten innovativen deutschen Energieversorgungskonzepts. Dieser Prozess wird zudem durch die relevanten europäischen rechtspolitischen Rahmenvorgaben im Zusammenhang mit Klimaschutz und Energieversorgung erschwert. Netzspezifische Anforderungen, wie permanent gedeckter Strombedarf im Grund-, Mittel- und Spitzlastbereich, lassen ein Mischkonzept aus dem Einsatz konventioneller Kraftwerkstechnik zur Grundlastdeckung und regenerativer Energietechnik zur Mittellast- und Spitzlastdeckung sinnvoll erscheinen. Es existieren zudem Planungsideen, den gesamten Energiebedarf ausschließlich aus regenerativen Energiequellen zu decken, was die überregionale und dauerhafte Versorgungssicherheit in Frage stellen dürfte.

#### **4. Einsatz der erneuerbaren Energien in Deutschland**

Die historische Entwicklung der Anteile des Einsatzes erneuerbarer Energietechniken zur Stromerzeugung in Deutschland zeigt sich im Überblick in folgender Tabelle (vgl. Tab. 1).

Es lässt sich an der folgenden Abbildung (vgl. Abb. 1) für Deutschland demnach trendhaft eine Zunahme des Gesamtanteils der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch von 3,8% im Jahre 2000 auf 8,6% im Jahre 2007 konstatieren sowie ein Anstieg des Anteils der erneuerbaren Energien zum Bruttostromverbrauch des Endenergieverbrauchs von Deutschland auf 14,2% und des Wärmeverbrauchsanteils auf 6,6%. Laut dem Gesetz zur Erneuerbaren Energie soll der Anteil der erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2020 über 20% betragen. Man sieht damit erheblichen Brancheninvestitionen verbunden.

Im europäischen Vergleich liegt Deutschland mit seinem Anteil am Primärenergieverbrauch bestenfalls im Mittelfeld. Die EU-Länder wie Schweden (29,8%) und Lettland (36,3%) liegen in den höchsten Anteilen. Die Europäische Kommission generierte im Januar 2008 Vorgaben für alle Mitgliedstaaten der EU, die in ihrer Verbindlichkeit und Anteilshöhe auch Deutschland vor weitere Herausforderungen stellt.

Tab. 1: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

	Wasser- kraft <sup>a</sup>	Wind- energie	Bio- masse <sup>b</sup>	biogener Anteil des Abfalls <sup>c</sup>	Photo- voltaik	Geo- thermie	Summe Strom- erzeugung	Anteil am Bruttostrom- verbrauch
				(GWh)				%
1990	17.000	40	222	1.200	1	0	18.463	3,4
1991	15.900	140	250	1.200	2	0	17.492	3,2
1992	18.600	230	295	1.250	3	0	20.378	3,8
1993	19.000	670	370	1.200	6	0	21.246	4,0
1994	20.200	940	570	1.300	8	0	23.018	4,3
1995	21.600	1.800	670	1.350	11	0	25.431	4,7
1996	18.800	2.200	853	1.350	16	0	23.219	4,2
1997	19.000	3.000	1.079	1.400	26	0	24.505	4,5
1998	19.000	4.489	1.642	1.750	32	0	26.913	4,8
1999	21.300	5.528	1.791	1.850	42	0	30.511	5,5
2000	24.936	7.550	2.279	1.850	64	0	36.679	6,3
2001	23.383	10.509	3.206	1.859	116	0	39.073	6,7
2002	23.824	15.786	4.017	1.945	188	0	45.760	7,8
2003	20.350	18.859	6.970	2.162	313	0	48.654	8,1
2004	21.000	25.509	8.347	2.116	557	0,2	57.529	9,5
2005	21.524	27.229	10.495	3.039	1.282	0,2	63.569	10,4
2006	20.000	30.710	15.500	3.639	2.220	0,4	72.069	11,7
2007	20.700	39.500	19.500	4.250	3.500	0,4	87.450	14,2

*a* – bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss; *b* – bis 1998 nur Einspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung; *c* – Anteil des biogenen Abfalls zu 50% angesetzt

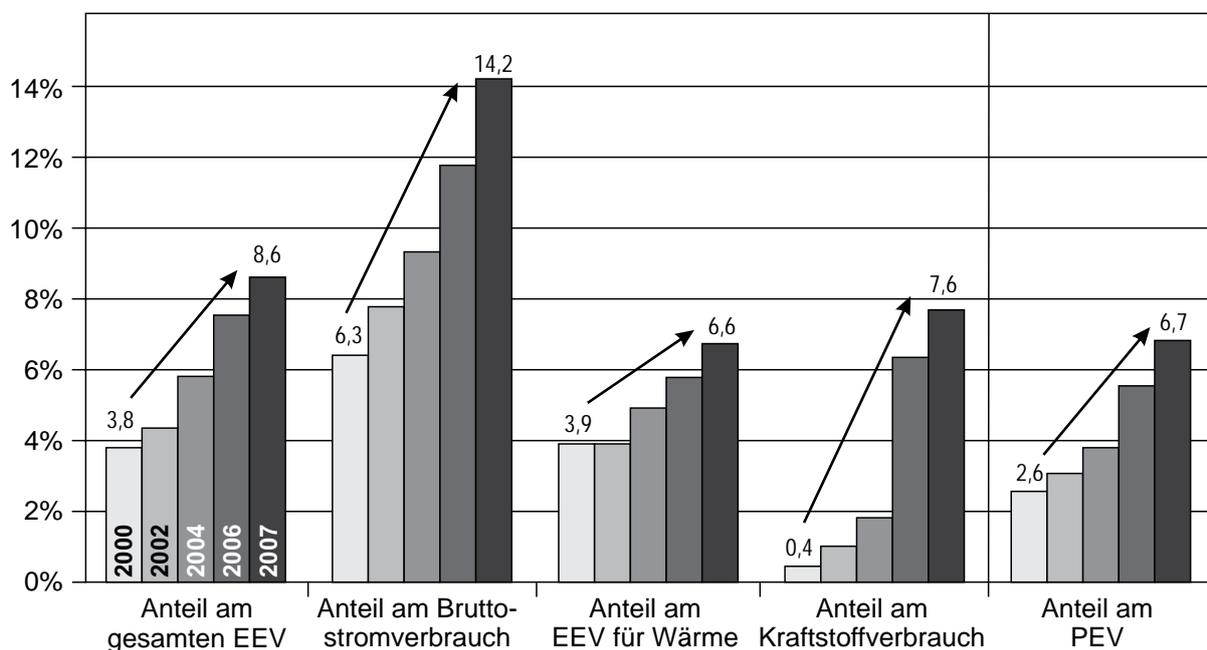
Quelle: BMU 2008

In den konkreten Beiträgen der verschiedenen erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung in Deutschland im Jahre 2007 zeigen sich als höchste Beitraggeber (bezogen auf die Endenergie an der Stromerzeugung) die Windenergie mit 39.500 GWh sowie die Wasserkraft mit 20.700 GWh (BMU 2007). Restliche rund 27.000 GWh verteilen sich auf alle weiteren regenerativen Energietechniken. Im Bereich Wärmeerzeugung sind die biogenen Festbrennstoffe mit rund 69.000 GWh als Hauptanteil zu kennzeichnen.

## 5. Entwicklungstendenzen

Eine Vielfalt an technischen Entwicklungen im Bereich der erneuerbaren Energien findet fortlaufend statt, insgesamt ist eine horizontale Diversifikation im Markt festzustellen. An Schlüsseltechnologien für die Zukunft sind vor allem

Abb. 1: Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



EEV – Endenergieverbrauch; PEV – Primärenergieverbrauch, berechnet nach Wirkungsgrad - methode

Quelle: BMU 2008

die Nutzung der Windkraft, speziell im Offshorebereich, anzusehen sowie die Brennstoffzellentechnik: Die Brennstoffzelle wird in Deutschland als eine der zukunftsfähigen Techniken zur zentralen und dezentralen Strom- und Wärme- produktion bewertet. Brennstoffzellen sind elektrochemische Zellen, die, ähnlich wie eine Batterie, die chemisch gebundene Energie des Brennstoffs direkt in elektrische Energie umwandeln. Die elektrischen Wirkungsgrade bei stationären Einzelanlagen liegen bei 40%–50%. Klassische Schadstoffe wie beispielsweise CO und NO<sub>x</sub> werden nicht gebildet, im Gegenteil entstehen im Vergleich mit konventionellen Systemen deutlich geringere Emissionen. Die Brennstoffzellen- technik befindet sich derzeit noch in verschiedenen Entwicklungsstadien in deut- schen theorieorientierten Forschungseinrichtungen (wie dem Hahn-Meitner-In- stitut in Berlin) und Industrieforschungen (BMW). Der entscheidende Erfolgs- faktor dieser Technologie liegt u.a. in den Finanzierungsoptionen für die noch hohen Investitionskosten (Initiator und Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie).

Beim Betrieb einer Brennstoffzelle mit reinem Wasserstoff entsteht neben Strom und Wärme lediglich reines Wasser. Dies bedeutet, dass die Brennstoff- zelle eine emissionsfreie Strom- und Wärmeerzeugung bereitstellt. Allerdings

Tab. 2: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung in Deutschland 2007

		End- energie  (GWh)	Primärenergieäquivalent <sup>a</sup>	
			nach Wirkungs- gradmethode (PJ)	nach Substitu- tionsmethode (PJ)
Stromerzeugung	Wasserkraft <sup>b</sup>	20.700	74,5	203,6
	Windenergie	39.500	142,2	374,8
	Photovoltaik	3.500	12,6	31,1
	biogene Festbrennstoffe	7.390	65,5	65,5
	biogene flüssige Brennstoffe	2.590	22,9	22,9
	Biogas	7.430	65,8	65,8
	Klärgas	1.040	9,2	9,2
	Deponiegas	1.050	9,3	9,3
	biogener Anteil des Abfalls <sup>c</sup>	4.250	37,7	37,7
	Geothermie <sup>d</sup>	0,4	0,0	0,0
	<b>Summe</b>	<b>87.450</b>	<b>439,7</b>	<b>820,0</b>
Wärmeerzeugung	biogene Festbrennstoffe (Haushalte)	57.778		208,0
	biogene Festbrennstoffe (Industrie) <sup>e</sup>	11.250		40,5
	biogene Festbrennstoffe (Heizkraft- und Heizwerke) <sup>f</sup>	2.300		8,3
	biogene flüssige Brennstoffe <sup>g</sup>	4.500		16,2
	biogene gasförmige Brennstoffe <sup>g</sup>	3.461		12,5
	biogener Anteil des Abfalls <sup>c</sup>	4.910		17,7
	Solarthermie	3.700		13,3
	tiefe Geothermie	160		0,6
	oberflächennahe Geothermie	2.139		7,7
		<b>Summe</b>	<b>90.198</b>	
Kraftstoff	Biodiesel	34.389		123,8
	Pflanzenöl	8.750		31,5
	Bioethanol	3.417		12,3
	<b>Summe</b>	<b>46.556</b>		<b>167,6</b>
<b>Gesamt</b>		<b>224.204</b>	<b>932,1</b>	<b>1.312,3</b>

EE – Erneuerbare Energien; EEV – Endenergieverbrauch; PEV – Primärenergieverbrauch  
Angaben vorläufig

*a* – Bei Wärme und Kraftstoff wird hier Endenergie gleich Primärenergie gesetzt; *b* – bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss; *c* – biogener Anteil mit 50% angesetzt; *d* – zweites Geothermiekraftwerk Ende 2008 in Betrieb gegangen; *e* – Industrie: Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des verarbeitenden Gewerbes, § 8Energistatistikgesetz, Wert 2007 geschätzt auf der Basis von Angaben für 2005; *f* – nach §§ 3 und 5 Energistatistikgesetz nur Allg. Versorgung; *g* – teilweise geschätzt, bei Gasen einschließlich der Direktnutzung von Klärgas; *h* – bezogen auf den Brut-

Tab. 2: (Fortsetzung)

	Anteil am Endenergieverbrauch	Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch <sup>l</sup>	
	%	nach Wirkungsgradmethode %	nach Substitutionsmethode %
Anteil am Stromverbrauch <sup>h</sup>	3,4	0,5	1,4
	6,4	1,0	2,6
	0,6	0,1	0,2
	1,2	0,5	0,5
	0,4	0,2	0,2
	1,2	0,5	0,5
	0,2	0,1	0,1
	0,2	0,1	0,1
	0,7	0,3	0,3
	0,0	0,0	0,0
	14,2	3,2	5,8
Anteil am EEV für Wärme <sup>i</sup>	4,2	1,5	1,5
	0,8	0,3	0,3
	0,2	0,06	0,06
	0,3	0,12	0,11
	0,3	0,09	0,09
	0,4	0,13	0,12
	0,3	0,10	0,09
	0,01	0,004	0,004
	0,2	0,05	0,04
	6,6	2,3	2,3
Anteil am Kraftstoffverbrauch <sup>j</sup>	5,6	0,9	0,9
	1,4	0,2	0,2
	0,6	0,1	0,09
	7,6	1,2	1,2
	8,5	6,7	9,2

to Stromverbrauch 2007 von 617,5 TWh; *i* – wegen des milden Klimas 2007 nur 4.950 PJ als EEV eingesetzt, Basis für die Schätzung ist der EEV für Raumwärme, Warmwasser und sonstige Prozesswärme 2005 (unter der Berücksichtigung von Auf- und Abbau an Vorräten lagerbarer Brennstoffe – bereinigte Version) von 186,5 Mio. t SKE oder 5.466 PJ; *j* – bezogen auf den gesamten Kraftstoffverbrauch 2007 von 2.203 PJ; *k* – bezogen auf EEV 2006 von 9.423 PJ; *l* – bei einem Substitutionsfaktor (für Strom aus Biomasse) von 8.860 KJ/KWh

Quelle: BMU 2008

sind die Fragen nach der Herstellung des Wasserstoffes nicht geklärt. Diskutiert werden die Elektrolyse von Wasser mittels Solarstrom sowie die Wasserstoffgewinnung aus Biomasse. Der Transport ebenso die Verteilung des Wasserstoffes an die Verbraucher wäre problematisch, da für Wasserstoff eine komplett neue Infrastruktur aufgebaut werden müsste. Die Zukunftstechnologie Brennstoffzelle wird aber auch in zwei weiteren Hauptanwendungsfeldern vertreten. Schon während der deutschen Messe CeBIT 2003 und der Hannover Messe 2003 wurden Brennstoffzellen für portable Stromversorgungen, wie etwa für Laptops und Camcorder, vorgestellt. Auch die Markteinführung der Brennstoffzelle als Fahrzeugantrieb wurde bedacht. Hier herrscht aber noch die größte Unsicherheit, welche mit Szenarien und Szenario-Studien begleitet wird.

## 6. Fazit

Die Nutzung regenerativer Energiequellen wird in Deutschland weiter zunehmen. Eine Vielfalt an Faktoren, wie Rohstoffknappheit, marktgenerelle Effektgrößen wie die aktuellen Öl- und Gaspreisentwicklungen, Importabhängigkeiten, Umweltfaktoren, volkswirtschaftliche Subventionsinstrumente und weitere Aspekte, begünstigen diese Entwicklung. Das Wachstumspotenzial verschiedener regenerativer Energietechniken wird durch tragende Forschungseinrichtungen fortgeführt. Die aktuellen bundesdeutschen und europäischen Rahmenfestlegungen zeigen diesen Trend offensichtlich in die weitere Zukunft fort.

Neben der möglicherweise zentralen Rolle der Brennstoffzellentechnik ist und wird zukünftig parallel ein Ausbau der Einsatzgebiete der vorhandenen regenerativen Energietechniken in Deutschland erwartet. Obwohl nur etwa 5% der Fläche von Deutschland zur Nutzung der Windkraft geeignet sind, wurden u.a. von Industrieunternehmen wie Siemens aktuell Investitionen zum Ausbau von so genannten Offshore-Anlagen (Windanlagen im Meer) getätigt. Trotz degenerativer Energieeinspeisungsvergütungssätze für den so genannten Solarstrom und geringer Wirkungsgrade verschiedener Solarzellentypen, wird, dank produktionstechnischer Entwicklungen, die Wirtschaftlichkeit durch geringere Anschaffungskosten frühzeitig gegeben sein. Und das in einem Land, das klimatisch mit mittleren terrestrischen Einstrahlungsraten von 550–1.100 W/m<sup>2</sup> auskommen muss. Die Rolle von Deutschland als Innovator in verschiedenen Bereichen regenerativer Energietechnik dürfte sich fortsetzen, insbesondere in den Bereichen Windkraft, Biogasanlagen, Brennstoffzellen sowie PV-Anlagen. Die Wasserkraft ist in Deutschland weitgehend ausgebaut und dürfte als Exportgut weltweit weitere Wachstumsmärkte erobern.

## Literatur

- ASUE 1999: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (Hg.): BHKW-Grundlagen. Kaiserslautern
- Bernecker, G. 2001: Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen (4. Auflage). Hamburg
- BMU 2008: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Kl III 1, Stand Juni 2008
- Daenzer, W. F. 2000: Systems Engineering (9. Auflage). Zürich
- Goldmann, G. 2007: Regenerative Energietechnik im Überblick. Berlin
- Hinding, B. 2002: Klimawandel und Energiekonsum (1. Auflage). Berlin
- Kaltschmitt, M. 2003: Technologie und Potenziale. Ein Potpourri über Wärme, Strom und Kraftstoff. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.): Von der Forschung zum Markt – 10 Jahre Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow
- Klingebiel, M. 2005: Blockheizkraft: Kleine Blockheizkraftwerke: Technik, Planung und Genehmigung (4. Auflage). Stuttgart
- Quaschnig, V. 2006: Regenerative Energietechnik (4. Auflage). München
- Schaude, G. 2003: Zukunftstechnologie Brennstoffzelle. In: IHK Journal 10/2003
- Suttor, W. 2005: Blockheizkraftwerke: Ein Leitfaden für den Anwender; ein Informationspaket (6., aktualisierte Auflage). Köln
- Voß, A. 2001: Die Kraft-Wärme-Kopplung. Technik, Potenzial und Umweltwirkungen. Physikalische Blätter 57 Nr. 11. Weinheim

## Internetverzeichnis

- [www.bmu.de](http://www.bmu.de); Zugriff am 14.07.2008
- [www.geschka.de](http://www.geschka.de); Zugriff am 14.07.2008
- <http://www.ihk-koblenz.de/journal/10-03/brennstoffzelle.pdf>; Zugriff am 14.07.2008
- [http://www.energytech.at/kwk/portrait\\_kapitel-2\\_1.html](http://www.energytech.at/kwk/portrait_kapitel-2_1.html); Zugriff am 14.07.2008
- [http://www.energytech.at/kwk/portrait\\_kapitel-2\\_1.html](http://www.energytech.at/kwk/portrait_kapitel-2_1.html); Zugriff am 14.07.2008
- <http://www.pro-physik.de/Phy/pdfs/ISSART13405DE.PDF>; Zugriff am 14.07.2008



# Biotreibstoffe für Kraftfahrzeuge

*Alexandre Magno de Paula Dias, Felipe Eugenio Kich Gontijo*

## Vorbemerkung

Jüngste Studien weisen darauf hin, dass hauptsächlich Treibhausgase, die durch die Nutzung fossiler Brennstoffe entstehen, für die Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur des Planeten verantwortlich sind. Der Transportsektor ist weltweit für etwa 20% der Emissionen dieser Gase verantwortlich. In Brasilien ist der gleiche Sektor für den zweithöchsten Verbrauch an Primärenergie (ungefähr 28%) verantwortlich. Aufgrund der Bedeutung des Transportsektors beim Energieverbrauch und angesichts der Tatsache, dass der Hauptgrund der durch den Energieverbrauch verursachten Umweltprobleme die Nutzung fossiler Brennstoffe ist, hat die brasilianische Regierung die Produktion erneuerbarer Energien, hauptsächlich von Biotreibstoffen für Kraftfahrzeuge, durch politische Programme in letzter Zeit verstärkt gefördert. Die Durchführung dieser politischen Programme ist darauf fokussiert, in erster Linie das interne Energieangebot, die Entwicklung, den sozialen Einschluss und ökologische Nachhaltigkeit sicherzustellen. In diesem Kontext spielen das Ethanol, das aus Zuckerrohr gewonnen wird (Bioethanol), und der Biodiesel, der aus verschiedenen Pflanzenölen und auch aus Tierfett hergestellt wird, eine wichtige Rolle. Allerdings müssen noch viele Probleme gelöst werden. In erster Linie diejenigen, die durch die Zuckerrohrmonokulturen, die Arbeitsbedingungen und die soziale Lage der Arbeitskräfte und den Ernteprozess, bei dem das Zuckerrohr verbrannt werden muss, wobei eine beachtliche Menge an CO<sub>2</sub>-Emission anfällt, verursacht werden.

## 1. Einleitung

Laut der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft, wobei wir in diesem Kontext insbesondere den Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC = Intergovernmental Panel on Climatic Change oder Painel Intergovernmental sobre Mudanças Climáticas, 2007) der Vereinten Nationen nennen können, sind in erster Linie die Treibhausgase (THG), die durch die Nutzung fossiler Brennstoffe entstehen, für die Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur auf dem Planeten verantwortlich. In diesem Szenarium ragen die Kraft-

werke zur Produktion von elektrischer Energie heraus, die mit 41% der Emissionen den größten Anteil bei der Freisetzung von THG auf globalem Niveau haben. An zweiter Stelle erscheint der Transportsektor mit etwa 20% der Emissionen, dicht gefolgt vom Industriesektor mit 18% der Emissionen. Der Rest verteilt sich auf den Dienstleistungssektor und andere Aktivitäten (IEA 2006).

Brasilien wies 2007 ein Wachstum von über 6% (im Vergleich zum Jahr 2006) im Energieendverbrauch in fast allen Sektoren auf, angeführt von den Sektoren Industrie, Transport, Land- und Viehwirtschaft sowie Handel. Es ist wichtig, hervorzuheben, dass es eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien in der brasilianischen Energiematrix (MEB = Matriz Energética Brasileira) gab. Im Jahr 2006 wurden 44,9% der gesamten im Land verbrauchten Energie aus erneuerbaren Quellen hergestellt und 2007 lag der Anteil bei 46,4%. Diese Leistung festigt den Zustand der MEB als „sauberer“ im weltweiten Vergleich (MME 2008).

Der Transportsektor stellt den zweitgrößten Verbraucher (ca. 28,0%) an Primärenergie in Brasilien dar, mit einem Energieendverbrauch von 56.894 x 10<sup>3</sup> Tonnen Öleinheiten (tep = toneladas equivalente de petróleo) (MME 2008).

## **2. Biotreibstoffe für Kraftfahrzeuge**

Unter den technischen Lösungen zur Reduktion von Emissionen von THG des Transportsektors sowie zum Verbrauch fossiler Brennstoffe können wir die Verbesserung der Effizienz von Motoren (Energieumwandlung und Emissionsreduktion) sowie die Nutzung alternativer Brennstoffe hervorheben, wie z.B.: aus Erdöl gewonnenes Flüssiggas (LPG), verdichtetes Naturgas (NCG), Wasserstoff, Elektrizität und die so genannten Biotreibstoffe, wie Bioethanol und Biodiesel (Goldemberg 2003; Hoyer 2007).

In Brasilien konzentriert sich die Produktion von Biotreibstoffen aufgrund der Beherrschung der verwendeten Technologie (geringe Komplexität) und auch aufgrund des großen Angebotes an Anbauflächen auf das aus Zuckerrohr gewonnene Bioethanol und auf den Biodiesel, der aus Pflanzenölen hergestellt wird.

## **3. Bioethanol**

Die Produktion von Ethanol, in Brasilien aus Zuckerrohr und in den USA aus Mais gewonnen, basiert auf einer etablierten und wirtschaftlich konkurrenzfähigen Technologie mit guten Perspektiven und Wachstumstendenz. Das brasilianische Bioethanol wird durch die Gärung des Zuckerrohrsaftes mittels Hefen und anschließender Destillation hergestellt. In anderen Ländern nutzt man auch Mais

und Zuckerrüben zur Herstellung von Bioethanol, allerdings ist es vor dem Gärungsprozess notwendig, das in diesen Lebensmitteln vorhandene Amid in Zucker umzuwandeln. Durch diesen Zusatzschritt sinkt der Ertrag und die Produktionskosten steigen im Vergleich zur Verarbeitung des Zuckerrohrs (Mousdale 2008).

Dem Ministerium für Bergbau und Energie (MME = Ministério de Minas e Energia) (2008) zufolge stieg das Angebot an Bioethanol 2007 in Brasilien um 34,7% an. Heute stellt das Zuckerrohr die zweitwichtigste Energiequelle der brasilianischen Energiematrix dar und wird nur durch das Erdöl übertroffen.

Die Produktion von Bioethanol in Brasilien hatte ihren Anfang in den 70er Jahren, angeregt durch die Erdölkrise, und wurde unterstützt durch ein Programm der Bundesregierung, genannt PROALCOOL (dt.: für den Alkohol). Ab 1976 stieg die jährliche Produktion schnell an, und bereits Ende der 70er Jahre betrug sie etwa 12 Mio. m<sup>3</sup>. Anfang der 80er Jahre stabilisierten sich die Erdölpreise und die Produktion von Bioethanol sank drastisch. Dennoch stieg die brasilianische Produktion mit der Entwicklung von Flex Fuel-Motoren, die sowohl mit Benzin als auch Ethanol betrieben werden können, wieder an und 2007 betrug die Produktion nach Angaben des MME (2008) mehr als 16 Mio. m<sup>3</sup>.

Nach Prognosen des Nationalen Verbands der Kraftfahrzeugfabrikanten (ANFAVEA = Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) soll die Anzahl der sich in Brasilien im Umlauf befindlichen Fahrzeuge, die mit Bioethanol und Benzin betrieben werden (Flex Fuel-Fahrzeuge), bis 2013 auf 15 Millionen Stück ansteigen. Die Anzahl an Flex Fuel-Fahrzeugen, die sich gegenwärtig im Umlauf befinden, beträgt diesem Verband zufolge über 4,2 Millionen Stück (Anfavea 2008).

Seit dem Aufkommen des PROALCOOL wurde viel geforscht und investiert, um die Qualität der mit Bioethanol betriebenen Motoren zu verbessern. Als Beispiel können wir die Entwicklung des Kaltstartsystems mit Direkteinspritzung von Benzin in den Motor anführen. Um das Rosten zu verhindern, welches durch die Verwendung von Bioethanol beschleunigt wird, werden die Vergaser mit Zink und die Fahrzeugtanks mit Zinn beschichtet. Diese Maßnahmen bewirkten die gewünschten Effekte und die technologischen Fortschritte gestatteten die Entwicklung der Flex Fuel-Motoren.

Aufgrund der gegenwärtigen weltweiten Nahrungsmittelproduktionskrise stand die Produktion von Bioethanol in Brasilien unter scharfer Kritik. Indessen bedecken die Zuckerrohrplantagen in Brasilien, die zur Produktion von Bioethanol genutzt werden, nur etwa 1% der gesamten landwirtschaftlichen Anbaufläche in Brasilien (IBGE 2008).

Laut MME (2008) wuchs das Angebot an Bioethanol in Brasilien im Jahre 2007 um 34,7% an. Heutzutage stellt Zuckerrohr die zweitwichtigste Energiequelle der brasilianischen Energiematrix dar und bleibt nur hinter dem Erdöl zu-

rück. Laut Schätzungen der Regierung (Agência Brasil 2008) wird die Produktion von Alkohol aus Zuckerrohr bis zur Ernte 2017/2018 um etwa 222,9% steigen, von 17,6 Millionen auf ungefähr 41,6 Millionen Liter.

#### 4. Biodiesel

Biodiesel ist ein Fettsäureester, den man normalerweise durch die chemische Reaktion von Ölen oder Fetten tierischen oder pflanzlichen Ursprungs mit einem Alkohol erhält. Diese Reaktion ist als Umesterung bekannt und vollzieht sich in alkalischem Milieu, als Produkt erhält man Glycerin und Fettsäureester, welche Bestandteile des Pflanzenöls sind. Neben dem Prozess der Umesterung kann Biodiesel auch durch die Prozesse des Krackens und der Veresterung gewonnen werden (Sharma 2008).

Aufgrund des großen Angebots an Bioethanol und dessen Umweltvorteilen sollte Biodiesel in Brasilien bevorzugt unter Benutzung dieses Alkohols hergestellt werden. Biodiesel ist ein erneuerbarer Biotreibstoff und biologisch abbaubar, er kann neben Tierfett und Altöl aus verschiedenen ölhaltigen Pflanzen, wie Baumwolle, Erdnuss, Ölpalme, Sonnenblume, Rizinus und Soja hergestellt werden. Das bedeutende Potenzial des Anbaus dieser ölhaltigen Pflanzen in Brasilien zusammen mit dem großen Angebot an landwirtschaftlicher Nutzfläche und dem günstigen Klima erlaubt die Verwendung verschiedener geeigneter Kulturen für jede Region und Jahreszeit.

Verschiedene Studien belegen, dass die Nutzung von Biodiesel die Hauptemissionen verringert, die bei der Nutzung des auf fossiler Basis hergestellten Diesels entstehen, wie Feinstaub, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Schwefeloxid (SO<sub>x</sub>). Als Ausnahme bei der Reduktion von Emissionen haben wir die Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>). Studien weisen darauf hin, dass, neben der Reduktion dieser Emissionen die Nutzung von Biodiesel die Emission von Treibhausgasen um 40 bis 60% senken kann (Zheng 2008).

Das Brasilianische Biodiesel-Programm (Programa Brasileiro para o Biodiesel) wurde von der Bundesregierung ins Leben gerufen und trat 2005 in Kraft. In ihm sind die Ziele und Fristen für die Einführung dieses neuen Treibstoffes in die brasilianische Energiematrix festgelegt. Dieses Programm sieht die gestaffelte Einführung des Biodiesels in die brasilianische Energiematrix vor und legte bereits für das Jahr 2005 einen Zusatz von 2% Biodiesel in den gesamten im Land verbrauchten Diesel fest. Von 2008 an wird diese Mischung verpflichtend sein und ab 2013 wird die Verwendung von 5% Biodiesel beim verbrauchten Diesel zur Vorschrift (Petrobras 2008). Von Petrobras (2008) durchgeführte Studien zeigen, dass der Zusatz von Biodiesel zum reinen Diesel in den

im Programm vorgesehenen Konzentrationen keine Veränderungen an den Kraftfahrzeugmotoren, die im Land im Einsatz sind, notwendig machen werden.

In Brasilien arbeiten mehrere Forschungsinstitute, Universitäten und Unternehmen gemeinsam an der Entwicklung des Brasilianischen Biodiesel-Programms. Mit öffentlichen Geldern haben Unternehmen und Forschungsinstitutionen eine Reihe von Studien zu Leistung, Verbrauch und Stärke von Motoren, aber auch zur Emission von Schadstoffen, zu verschiedenen Substraten für die Produktion von Biodiesel und zur Bewertung der Folgen der Produktionskette für die Umwelt durchgeführt. Das Unternehmen *Petróleo Brasileiro S/A* trägt durch technologische Entwicklung, kommerzielle Produktion und Verbreitung des Produkts entscheidend dazu bei.

Die Bundesregierung hat außerdem ein Steuermodell entwickelt, welches den teilweisen oder gesamten Erlass von Kraftstoffe betreffenden Steuern für Biodieselproduzenten gewährt, welche die familienbasierte Landwirtschaft unterstützen, um dadurch die Umsetzung der leitenden Grundprinzipien des Nationalen Programms zur Produktion und Gebrauch von Biodiesel („Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel“ =PNPB) zu ermöglichen, welche darin bestehen, gesellschaftlichen Ausschluss und regionale Ungleichheiten in den bedürftigsten Segmenten der brasilianischen Landwirtschaft zu verringern (PNPB 2008).

## 5. Schlussfolgerungen

Die Produktion und Nutzung von Biotreibstoffen stellen eine wichtige Alternative für die Schaffung von Einkommen und den Schutz der Umwelt durch die Verringerung der Erzeugung von giftigen Gasen und Treibhausgasen dar. Besonders in der brasilianischen Realität sollte man auch die Möglichkeit des sozialen Einschlusses unterstreichen, da die Produktionskette dieser Treibstoffe die familiäre Landwirtschaft und die Schaffung von Arbeitsplätzen auf dem Land mit einschließt.

Aus technologischer Sicht ist Brasilien bei der Entwicklung neuer Technologien sehr weit vorangekommen, um den neu entstehenden technischen Bedarf bedienen zu können. Im Hinblick darauf sind insbesondere das PROALCOOL (Programm mit 100% nationaler Technologie) und auch die bei der Biodieselproduktion erzielten Fortschritte von besonderer Bedeutung.

Dennoch sind Probleme vorhanden, die gelöst werden müssen, damit die Produktion von Bioethanol wirklich zu einer sozial und ökologisch nachhaltigen Alternative wird. Diese Probleme werden vorwiegend durch die Zuckerrohr-Monokultur geschaffen, durch die sozialen und arbeitstechnischen Bedingungen für die angestellten Arbeitskräfte sowie durch den Erntevorgang, der das Ab-

brennen des Zuckerrohrs notwendig macht, was u.a. eine beachtliche Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen freisetzt. Es besteht außerdem noch das Risiko, dass große Anbauflächen, die zur Nahrungsmittelproduktion und Rinderzucht bestimmt sind, durch die Zuckerrohrkultur besetzt werden. Dies könnte eine Verlagerung der Nahrungsmittelproduktion vom zentralen und südlichen Brasilien ins Amazonasgebiet zur Folge haben, was ernste Probleme von Rohdung und weiteren Umweltschäden nach sich ziehen würde.

Die Hauptprobleme, die bei der Biodieselproduktion auftreten können, hängen mit der Produktionskette des Bioethanols zusammen, weil dieser Alkohol in großem Umfang bei der Produktion des Biodiesels selbst eingesetzt wird. Es besteht außerdem möglicherweise ein Risiko von Umweltproblemen im Zusammenhang mit dem Entstehen von Monokulturen zur Produktion der ölartigen Stoffe. Es ist wichtig, die Notwendigkeit kurzfristiger Aktionen hervorzuheben, welche die Nachhaltigkeit der Biodieselproduktion gewährleisten. Solche Aktionen sollten sich darauf konzentrieren, Anreize für die Organisation von Landwirten in Kooperativen, für die familiäre Landwirtschaft, für technische Assistenz für die Produzenten und für den Anbau von ölhaltigen Pflanzen im Wechsel mit anderen Kulturen zu geben, um Monokulturen zu vermeiden.

## Literatur

- Goldemberg, J./Villanueva, L. D. 2003: Energia, meio ambiente e desenvolvimento. Edusp.
- Hoyer, K. G./Holden, E. 2007: Alternative fuels and sustainable mobility: is the future road paved by biofuels, electricity or hydrogen? *International Journal of Alternative Propulsion*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2008: Estudo sistemático da produção agrícola (online: [www.ibge.br](http://www.ibge.br); Zugriff im Juli 2008)
- IEA – International Energy Agency 2006: *World Energy Outlook*. Paris
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: *Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis*
- Marchetti, J. M./Miguel, V. U./Errazu A. F. 2008: Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*
- MME – Ministério de Minas e Energia 2008: *Balanço Energético Nacional 2008 – Ano Base 2007. Resenha Energética Brasileira: Resultados Preliminares*. Ministério de Minas e Energia. Brasil
- Mousdale, D. M. 2008: *Biofuels: biotechnology, chemistry, and sustainable development*. CRC Press
- Sharma, Y. C./Singh, B./Upadhyay, S. N. 2008: Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*

Zheng, M./Mulenga, M. C./Reader, G. T./Wang, M./Ting, D. S-K./Tjong, J. 2008: Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. Fuel

## **Internetverzeichnis**

ANFAVEA-Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores 2008: Dados estatísticos (online: [www.anfavea.com.br](http://www.anfavea.com.br); Zugriff im Mai 2008)

Agência Brasil. Empresa Brasil de Comunicação 2008 (online: <http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/01/09/materia.2008-01-09.3618050756/view>; Zugriff im September 2008)

Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A 2008: Energias renováveis (online: [http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads\\_Petrobras.html](http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads_Petrobras.html); Zugriff im Juni 2008)

PNPB. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel 2008 (online: [http://www.biodiesel.gov.br/docs/Folder\\_biodiesel\\_portugues\\_paginado.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/Folder_biodiesel_portugues_paginado.pdf); Zugriff im September 2008)

