



Agentur für  
Erneuerbare  
Energien

Kurzstudie

## Globale Bioenergienutzung – Potenziale und Nutzungspfade

Analyse des WBGU-Gutachtens  
“Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige  
Landnutzung”

Juni 2009

**Agentur für Erneuerbare  
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18  
10117 Berlin  
Tel.: 030-200535-3  
Fax: 030-200535-51  
kontakt@  
unendlich-viel-energie.de

**Schirmherr:**  
“deutschland hat  
unendlich viel energie”  
Prof. Dr. Klaus Töpfer

**Unterstützer:**  
Bundesverband  
Erneuerbare Energie  
  
Bundesverband  
Solarwirtschaft  
  
Bundesverband  
WindEnergie  
  
Geothermische  
Vereinigung  
  
Bundesverband  
Bioenergie  
  
Fachverband Biogas  
  
Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicher-  
heit  
  
Bundesministerium für Ernäh-  
rung, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz

Verfasser: Björn Pieprzyk für die  
Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Weltweite Energiepflanzenpotenziale .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Vergleich von Treibhausgasbilanzen der Bioenergienutzung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Ökobilanz von ein- und mehrjährigen Energiepflanzen .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>21</b>
<b>6. Quellenverzeichnis .....</b>	<b>23</b>

## 1. Einleitung

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat 2008 in seinem Gutachten "Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung" die globalen Biomassepotenziale untersucht und die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der Bioenergie im Strom-, Wärme- und Kraftstoffsektor verglichen. Das Gutachten kommt zu den folgenden wesentlichen Ergebnissen:

1. Die weltweiten Flächen für den Anbau von Energiepflanzen sind begrenzt.
2. Der Einsatz von Bioenergie im stationären Bereich zur Strom- und Wärmeerzeugung spart wesentlich mehr Treibhausgase als mit Biokraftstoffen im Verkehrssektor.
3. Die Nutzung mehrjähriger Energiepflanzen ist nachhaltiger und weist eine bessere Treibhausgasbilanz als einjährige Energiepflanzen auf Ackerland auf.

Der WBGU fordert daher den schnellen Ausstieg aus der Förderung von Biokraftstoffen im Verkehrsbereich. Stattdessen soll die Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Reststoffen und mehrjährigen Energiepflanzen stärker gefördert werden. Im Verkehrssektor sollen die fossilen Kraftstoffe durch Elektromobilität ersetzt werden.

In dieser Kurzstudie werden die wesentlichen Ergebnisse des WBGU-Gutachtens bewertet und Schlussfolgerungen für die zukünftige globale Bioenergienutzung gezogen.

## 2. Weltweite Energiepflanzenpotenziale

### 2.1 Flächenpotenzialanalyse des WBGU

Das weltweite Flächenpotenzial für Energiepflanzen des WBGU-Gutachtens liegt abhängig vom Agrarflächenbedarf für die Nahrungsmittelerzeugung und für den Schutz der Biodiversität zwischen 240 und 500 Mio. ha. Bestehende Schutzgebiete sind für die Nutzung in allen Flächenszenarien des WBGU ausgeschlossen. Der Energiepflanzenenertrag der verschiedenen Szenarien entspricht einem Bruttoenergiebetrag (d.h. ohne Umwandlungsverluste) zwischen 30 und 120 Exajoule (EJ) und kann damit zwischen 6 und 25 % des heutigen Primärenergiebedarfs (PEV) der Welt abdecken. Zusammen mit den biogenen Reststoffen kommt der WBGU auf ein Gesamtpotenzial zwischen 80-170 EJ, d.h. 16 bis 35 % des heutigen globalen Primärenergiebedarfs. Der WBGU sieht diese Energiemenge aber als technisches Potenzial, von dem aufgrund wirtschaftlicher und politischer Restriktionen nur die Hälfte erschlossen werden kann (d.h. 8 bis 17,5 % des heutigen PEV). Die Potenzialberechnungen des WBGU sind deutlich niedriger als andere Studien, die auf Potenziale von bis zu 1.440 EJ kommen<sup>1</sup>. Die sehr hohen Werte kommen vor allem durch die Annahme hoher Ertragssteigerungen weltweit, die zu einem ge-

---

<sup>1</sup> Faaij 2008, Institut für Energie und Umweltforschung 2007, Hoogwijk et al. 2005, Smeets et al. 2007.

ringeren Flächenbedarf für die Nahrungsmittelerzeugung und damit zu frei werdenden Flächen für Energiepflanzen führen.

Der WBGU nimmt außerdem an, dass auf schwer degradierten Böden nur 30 % der Erträge im Vergleich zu nicht degradiertem Land erzielt werden können<sup>2</sup>. Damit wird angenommen, dass es keine Regenerierungspotenziale auf diesen Flächen gibt. Nach Metzger und Hüttermann können aber selbst auf degradierten Flächen in trockenen tropischen Regionen schnellwüchsige Baumarten jährliche Zuwächse von bis zu 30 t Trockenmasse und damit doppelt so hohe Erträge wie in den gemäßigten Breiten auf guten Böden erreichen<sup>3</sup>.

Der WBGU schließt außerdem höchst degradierte Böden für Energiepflanzen aus (680 Mio. ha weltweit). Die globalen Bodenklassifizierungsdaten sind aber nur sehr grob. Der Potenzialmodellierung des WBGU dient der Datensatz des Global Assessment of Human Induced Soil Degradation (GLASOD) von 1990 als Grundlage. Die GLASOD-Daten basieren auf qualitativen Bewertungen von Geologen<sup>4</sup>. Viele Experten betrachten die GLASOD-Kartierung aufgrund der Ungenauigkeit (Maßstab 1:10 Millionen) und der fehlenden Validierung als nicht geeignet für politische Handlungsempfehlungen<sup>5</sup>. Eine Studie des Centre for World Food Studies der Freien Universität Amsterdam und des International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) hat 2006 die Qualität der GLASOD-Daten bewertet<sup>6</sup>. Die Untersuchung kommt zum Ergebnis, dass die Bodenbewertungen der GLASOD-Experten nicht belastbar und übertragbar sind, da für die Klassifizierung nicht einheitliche Maßstäbe verwendet worden sind. Wie fehlerhaft und ungenau die GLASOD-Kartierung ist, zeigt auch beispielhaft die Klassifizierung der Böden Costa Ricas. Nach GLASOD gehören über 80 % der costaricanischen Landesfläche (4 Mio. ha) zur Kategorie 4, d.h. sie sind extrem geschädigt, nicht mehr kultivierbar und nicht mehr zu restaurieren. Nach der Kartierung des costaricanischen Landwirtschaftsministeriums sind aber nur 4 % der Landesfläche so stark geschädigt, dass sie nicht mehr genutzt werden können<sup>7</sup>. Ein weiteres Beispiel für die geringe Belastbarkeit der GLASOD-Daten ist Burkina Faso. Nach GLASOD ist ca. die Hälfte der Böden Burkina Fasos extrem geschädigt. Mazzucato und Niemeijer konnten in einer vierjährigen Studie aber nur wenige Hinweise für die starke Verbreitung degradierter Flächen in diesem afrikanischen Land finden<sup>8</sup>.

---

<sup>2</sup> Als Bodendegradation bezeichnet man die Herabstufung eines Bodens im Sinne einer nachhaltigen Veränderung oder Zerstörung seiner natürlichen Merkmale, Strukturen und Funktionen. Degradierete Böden können ihre vielfältigen Funktionen im Naturhaushalt nicht mehr vollständig erfüllen: Sie gehen als Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten verloren. Sie können den Transport, die Umwandlung und Anreicherung von Stoffen nicht mehr in gewohntem Umfang durchführen. Sie dienen nicht mehr ausreichend als Wasserpuffer, was zu Überschwemmungen führen kann, und sie filtern das Regenwasser nicht mehr genügend, um es in trinkbares Grundwasser zu verwandeln. Sie verlieren außerdem ihre ökonomische Bedeutung für die Landwirtschaft, weil sie Pflanzen nicht mehr ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgen können. Unmittelbare Folge einer fortschreitenden Bodendegradation ist daher die Bedrohung der Versorgungssicherheit bei Nahrungsmitteln. Universität Münster 2002. Bayerische Landeszentrale für Politische Bildungsarbeit 2003.

<sup>3</sup> Metzger und Hüttermann 2009, vgl. Metzger und Hüttermann 2004.

<sup>4</sup> van Lynden 2004.

<sup>5</sup> Sonneveld und Dent 2007, Millennium Ecosystem Assessment 2005, van Lynden 2004, vgl. Mazzucato und Niemeijer 2001.

<sup>6</sup> Sonneveld und Dent 2007.

<sup>7</sup> Ministerio de Agricultura y Ganadería. Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Sepsa) 1991.

<sup>8</sup> Mazzucato und Niemeijer 2001.

Die GLASOD-Daten müssen daher regional verifiziert werden, um Aussagen zur Eignung für den Energiepflanzenanbau treffen zu können<sup>9</sup>. Für den pauschalen Ausschluss von 680 Mio. ha Fläche für den Energiepflanzenanbau ist die Datenqualität von GLASOD viel zu gering.

Die Annahmen zur weltweiten Ernteertragsentwicklung des WBGU erscheinen ebenfalls zu pessimistisch, da die weltweiten Ertragssteigerungspotenziale zeigen, dass eine zusätzliche Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen nicht erforderlich ist, um den zukünftigen weltweiten Bedarf an Nahrungsmittel zu decken:

- Die Steigerung der Getreideproduktion um 50 % bis 100 % bis 2030 auf der bestehenden Agrarfläche ist realistisch, da der heutige globale Durchschnittsertrag mit 3 t/ha weniger als die Hälfte des Ertrags in Deutschland und anderen europäischen Ländern erreicht<sup>10</sup>. Forschungsprojekte, wie z.B. das SAFE World Research Project zeigen, dass in den Tropen durch verbesserte und nachhaltige Anbaumethoden ohne den intensiven Einsatz von synthetischen Düngern und Pestiziden große Ertragszuwächse möglich sind<sup>11</sup>.
- Die Ertragssteigerungspotenziale sind besonders in den Tropen sehr hoch. Die durchschnittliche landwirtschaftliche Produktion pro Hektar beträgt z.B. in Afrika nur ein Drittel des durchschnittlichen Weltniveaus<sup>12</sup>.
- Forschungsprojekte zeigen, dass insbesondere durch Steigerung des Kohlenstoffanteils im Boden (durch Humus oder Holzkohle) die Erträge stark gesteigert werden können<sup>13</sup>. Diese Ergebnisse widerlegen die Befürchtung des WBGU, dass eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion immer zu erhöhten Treibhausgasemissionen und negativen Umwelteffekten führt.

Aber auch im Vergleich zu der weltweiten degradierten Fläche erscheinen die Flächenpotenziale des WBGU sehr niedrig. Nach Erhebungen der FAO sind über 3,5 Mrd. ha Fläche weltweit degradiert<sup>14</sup>. Das sind 40 % der weltweiten Acker-, Weide- und Waldfläche (vgl. Grafik 1).

---

<sup>9</sup> Sonneveld und Dent 2007.

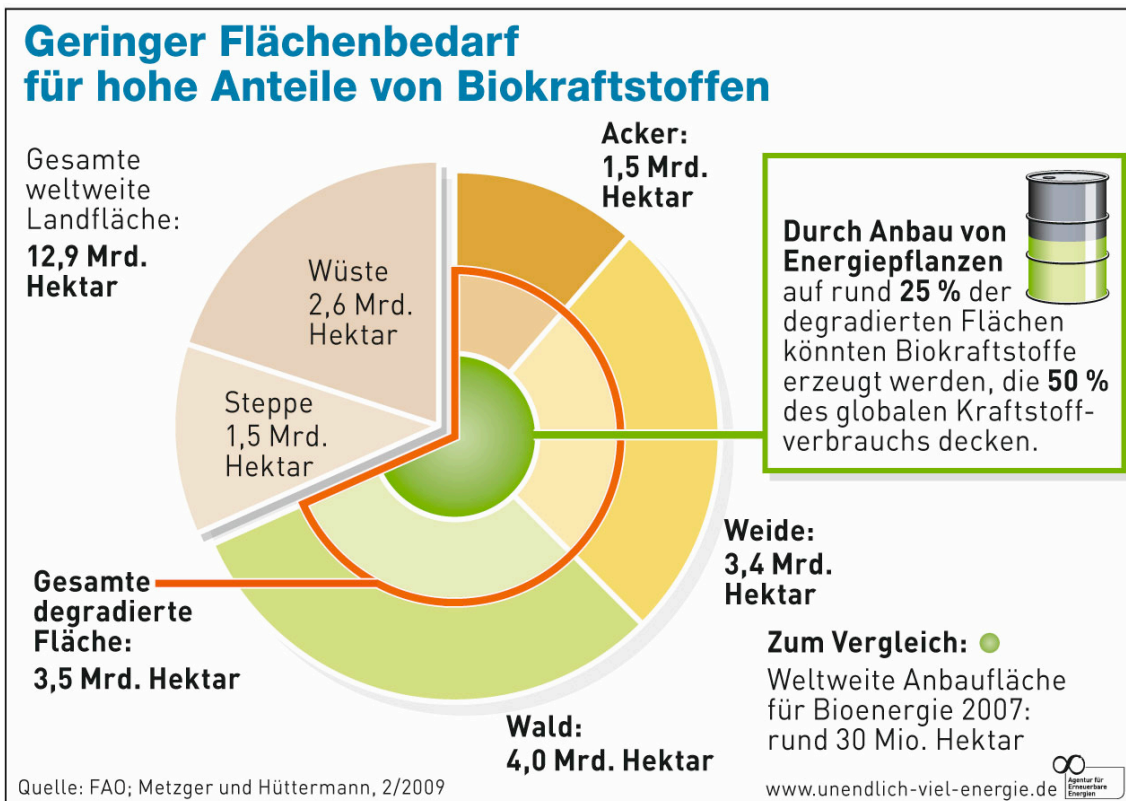
<sup>10</sup> Heutige Getreideerträge nach United States Department of Agriculture (USDA) 2008.

<sup>11</sup> Pretty und Hine 2001.

<sup>12</sup> Lahl 2008, vgl. USDA 2008.

<sup>13</sup> Lal 2001, 2006, 2009, Woolf 2008, Lehmann et al. 2003, 2006, Lehmann 2006. Der Forschungsbedarf für die Nutzung von Holzkohle (Biochar) ist noch sehr groß. Es gibt aber bereits weltweit viele Forschungs- und Pilotprojekte, um die Erträge mit Biochar und anderen Techniken zu erhöhen. Bisher ist es aber noch nicht gelungen, mit diesen Maßnahmen die Eigenschaften der Terra-Preta-Böden im Amazonasgebiet zu erreichen, die seit mehreren tausend Jahren trotz der intensiven Auswaschungsprozesse in den Tropen eine sehr hohe Fruchtbarkeit behalten haben und eine intensive landwirtschaftliche Nutzung mit hohen Erträgen ermöglichen.

<sup>14</sup> Zitiert in: Metzger und Hüttermann 2009.



Grafik 1: Weltweite Landnutzung in Mrd. ha<sup>15</sup>

## 2.2 Potenziale degradierter Flächen für den Anbau von Energiepflanzen

Das folgende Rechenbeispiel zeigt, dass Bioenergie einen sehr großen Beitrag zur weltweiten Energieversorgung leisten kann, wenn die Hälfte der degradierten Böden (1,75 Mrd. ha) für den Energiepflanzenanbau genutzt würde:

- Auf einem Viertel der Fläche (0,9 Mrd. ha) könnte mit einem durchschnittlichen jährlichen Pflanzenöl- bzw. Ethanolertrag von 1,2 t Rohöläquivalent/ha die Hälfte des heutigen globalen Kraftstoffverbrauchs gedeckt werden.
- Auf dem anderen Viertel könnte mit schnell wachsenden Baumarten mit einem durchschnittlichen jährlichen Zuwachs von 10 t Trockenmasse mehr als ein Drittel des heutigen Primärenergieverbrauchs gedeckt werden.

Diese Berechnung stellt eine sehr konservative Abschätzung der Biomasseerträge dar, da die heutigen maximalen Pflanzenölerträge über 5 t Rohöläquivalent (s. Tabelle 1), die Ethanol-erträge über 4 t Rohöläquivalent und die Zuwachsraten von schnellwüchsigen Baumarten in den gemäßigten Breiten bis zu 20 t Trockenmasse und in tropischen Trockenwäldern mehr als 30 t Trockenmasse/ha betragen<sup>16</sup>. Auch Forschungsarbeiten in Mexiko zeigen, dass sehr hohe

<sup>15</sup> Metzger und Hüttermann 2009.

<sup>16</sup> Worldwatch Institute 2006, Metzger und Hüttermann 2009.

Bioenergieerträge nicht auf die feuchten Tropen begrenzt sind. Anbauversuche mit Agaven mit sehr hohem Zuckergehalt haben unter semiariden Bedingungen Ethanolerträge von über 7.000 Liter/ha (d.h. über 3,5 t Rohöläquivalent) ergeben<sup>17</sup>.

	<b>Ertrag</b> (in t Rohöläquivalent/ha*a)
<b>Leindotter (in Mischbau mit Getreide)</b>	0,4
<b>Soja</b>	0,4
<b>Haselnuss</b>	0,4
<b>Senf</b>	0,4
<b>Sesam</b>	0,5
<b>Öldistel</b>	0,6
<b>Tungölbaum</b>	0,7
<b>Kakaobaum</b>	0,8
<b>Erdnuss</b>	0,8
<b>Olivenbaum</b>	0,9
<b>Moringa-Baum</b>	0,9
<b>Piassava-Palme</b>	1
<b>Wolfsmilchpflanze</b>	1
<b>Rhizinus</b>	1,1
<b>Bacuri-Baum</b>	1,1
<b>Raps</b>	1,2
<b>Pekannussbaum</b>	1,3
<b>Babassu-Palme</b>	1,4
<b>Jatropha</b>	1,4
<b>Sonnenblumen</b>	1,6
<b>Jjoba-Baum</b>	1,8
<b>Paranussbaum</b>	1,8
<b>Avocado</b>	2
<b>Oiticia-Baum</b>	2,2
<b>Buriti-Palme</b>	2,4
<b>Pequi-Baum</b>	2,8
<b>Macauba-Palme</b>	3,4
<b>Pongamia-Baum</b>	3,7
<b>Ölpalme</b>	4,4
<b>Kokusnuss</b>	5,3

Tabelle 1: Ölpflanzenenerträge. Die Werte stellen die Erträge auf guten Standorten dar<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Vélez 2008, Burger 2008.

<sup>18</sup> National Center for Appropriate Technology (NCAT) 2002, Pingel 2008, Bundesverband Pflanzenöle 2009.

Außerdem gilt es noch große Potenziale salzhaltiger Flächen mit salztoleranten Pflanzen (Halophyten) für die Bioenergieerzeugung zu nutzen. Nach Lahl eignen sich etwa 50 Mio. ha Küstengebiete für die saline Landwirtschaft mit Meerwasserbewässerung<sup>19</sup>.

### **2.3 Bioenergie und Biodiversität**

Bioenergie kann durch die Rekultivierung von degradiertem Land einen Beitrag für die Biodiversität leisten. Langfristig ist ohne einen weltweiten massiven Ausbau der Bioenergie der Schutz der Biodiversität nicht möglich, da ohne den Beitrag der Bioenergie das Erreichen der globalen Klimaschutzziele in Frage gestellt ist. Der fortschreitende Klimawandel stellt eine der größten Gefahren für die Biodiversität dar. Klimaschutzmaßnahmen sind daher immer auch Maßnahmen zum Schutz der globalen Biodiversität. Das bedeutet aber keinen Freischein für die lokale oder regionale Gefährdung der Artenvielfalt durch Bioenergie, sondern dass es eine Integration der verschiedenen Ziele geben muss. Eine Lösungsmöglichkeit könnte die Kategorisierung der Flächennutzung sein:

- „No-Go-Areas“ mit sehr hohem Schutzstatus
- Regionen mit hoher und mittlerer Biodiversität: hohe Auflagen für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung
- Regionen mit geringem Schutzstatus

Die Flächennutzung könnte mit der Integration der verschiedenen Ziele nicht nur Biodiversitäts- und Klimaschutzziele, sondern auch die Ziele der Revitalisierung des ländlichen Raumes und der Armutsbekämpfung verbinden. Weltweite Erfahrungen zeigen, dass Schutzkriterien wirkungslos sind, wenn keine Einkommensmöglichkeiten für die ansässige Bevölkerung geschaffen werden. Mit einer land- und forstwirtschaftlichen Produktion, die die energetische Nutzung integriert, ist die Chance verbunden, nachhaltige Nutzungsmöglichkeiten auch für Gebiete mit hoher Biodiversität zu entwickeln. Die Standardisierungs- und Zertifizierungssysteme, die zurzeit entwickelt werden, können die Kontrollinstrumente liefern, die bisher nicht vorhanden waren.

### **2.4 Bioenergie und Ernährungssicherheit**

Ebenso sind Bioenergie und Ernährungssicherheit keine Gegenspieler. Die weltweite Ernährungssicherheit ist in vielen Regionen der Erde, insbesondere in Afrika, durch den Klimawandel erheblich gefährdet. Deswegen müssen die globalen Treibhausgasemissionen mit Hilfe aller erneuerbarer Energieträger einschließlich der Bioenergie sehr stark reduziert werden, um die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen. Neben den Klimaschutzmaßnahmen sind aber außerdem Adaptionsmaßnahmen notwendig, die sehr große Investitionen in die weltweite Landwirtschaft verlangen. Insbesondere die Entwicklungsländer sind betroffen, weil in den

---

<sup>19</sup> Lahl 2008.



letzten Jahrzehnten zu geringe Investitionen in die Landwirtschaft geflossen sind und der Agrarsektor vernachlässigt worden ist<sup>20</sup>. Agrarsubventionen und Agrarprotektionismus erschweren außerdem die landwirtschaftliche Entwicklung in vielen Entwicklungsländern<sup>21</sup>. Viele Länder sind dadurch zu Hilfsempfängern bzw. Importeuren von Nahrungsmitteln geworden. Zudem hat die hohe Erdölproduktion einiger afrikanischer Länder dazu geführt, dass die landwirtschaftliche Produktion erheblich zurückgegangen ist, in Nigeria zum Beispiel um 60 % zwischen 1975 und 1978<sup>22</sup>.

Die Bioenergie kann daher, eingebettet in eine Gesamtstrategie, einen wichtigen Beitrag zur Nahrungsmittelsicherheit leisten, indem in Infrastruktur, Agrartechnik und vor allem Beratung investiert wird. Außerdem können vielfach Kuppelprodukte der Pflanzenöl- und Ethanolproduktion als Futtermittel eingesetzt werden. Mit dem Anbau von Energiepflanzen auf rund einem Viertel der weltweiten degradierten Flächen (900 Mio. ha) könnten mehr als 500 Mio. t eiweißreiche Futtermittel erzeugt werden<sup>23</sup>. Der heutige gesamte Futtermittelbedarf beträgt 700 Mio. t. Wenn auf degradiertem Weideland Energiepflanzen angebaut werden, vermeiden die als Futtermittel verwendeten Kuppelprodukte Nutzungskonkurrenzen.

## 2.5 Gesamtes Bioenergiepotenzial

Das gesamte Bioenergiepotenzial ist unter der Prämisse, dass die Hälfte der weltweiten degradierten Flächen für Energiepflanzen genutzt wird, enorm: Mehr als 40 % des heutigen globalen Energiebedarfs könnten mit Energiepflanzen gedeckt werden. Zusammen mit den biogenen Reststoffen erhöht sich der Beitrag auf über 50 % des gesamten Energiebedarfs. Bioenergie kann in allen Sektoren (Strom, Wärme und Kraftstoffe) ohne Nutzungskonkurrenz einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten.

## 3. Vergleich von Treibhausgasbilanzen der Bioenergienutzung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor

### 3.1 Ergebnisse des WBGU-Gutachten

Da die weltweiten Bioenergiepotenziale nach Berechnungen des WBGU-Gutachtens begrenzt sind, empfiehlt der Beirat, die Bioenergie nur dort einzusetzen, wo sie den größten Klimaschutzbeitrag liefert. Nach der Analyse des WBGU spart der Einsatz von Bioenergie im stationären Bereich zur Strom- und Wärmeerzeugung wesentlich mehr Treibhausgase als mit Biokraftstoffen im Verkehrsbereich (Strom aus Bioenergie: 953 g CO<sub>2</sub>eq<sup>24</sup>/kWh, Biokraftstoffe: 320 g CO<sub>2</sub>eq/kWh).

---

<sup>20</sup> International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD) 2009.

<sup>21</sup> Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) 2009. IAASTD 2009.

<sup>22</sup> Shaxson 2009.

<sup>23</sup> Annahme: Die Hälfte der Energiepflanzen erzeugt Kuppelprodukte, die als Futtermittel genutzt werden können.

<sup>24</sup> CO<sub>2</sub>-Äquivalente

### 3.2 Zukünftige Entwicklung der Förderung und des Verbrauchs von Erdöl

Die Berechnungen des WBGU zur Vermeidung der Emissionen von fossilen Energieträgern sind eine Status-Quo-Betrachtung, die annimmt, dass die Emissionen von fossilen Kraftstoffen bis 2030 gleichbleiben. Damit setzt der Beirat voraus, dass in nächsten Jahrzehnten

- konventionelles Erdöl den weltweiten Kraftstoffbedarf weiter decken kann,
- die Menge des Erdöls, das leicht abgebaut und mit verhältnismäßig geringen Emissionen weiterverarbeitet werden kann, nicht zurückgeht,
- und die Bedeutung von Kraftstoffen aus unkonventionellen Quellen (Teersande und Ölschiefer, Kohle, Schweröle), deren Abbau und Weiterverarbeitung mit deutlich höheren Emissionen verbunden sind, nicht zunimmt<sup>25</sup>.

Das Maximum der Erdölförderung, der sogenannte Peak Oil, findet demnach nicht vor 2030 statt. Das WBGU übernimmt damit die Abschätzung der Internationalen Energieagentur (IEA), die den Peak Oil nicht vor 2030 erwartet<sup>26</sup>. Andere Studien rechnen aber mit einem deutlich früheren Eintreten des Maximums der Erdölförderung. Nach Einschätzung der Energierohstoffstudie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) von 2007 ist bei moderatem Verbrauchsanstieg eine ausreichende Versorgung mit konventionellem Erdöl nur noch für die nächsten Jahre gewährleistet. Die BGR-Experten sehen bei weiter steigendem Bedarf den Peak Oil für unausweichlich und rechnen nach dem Fördermaximum mit sinkenden Fördermengen<sup>27</sup>. Die Energy Watch Group kommt in ihrer vor kurzem veröffentlichten Studie zu dem Ergebnis, dass der Peak Oil schon 2006 eingetreten ist und bis 2020 ein dramatischer Rückgang der weltweiten Ölförderung zu erwarten ist<sup>28</sup>. Unabhängig vom genauen Zeitpunkt der maximalen Ölförderung ist unbestritten, dass konventionelles Erdöl der fossile Energieträger ist, der die geringsten Ressourcen aufweist und am schnellsten ausgebeutet sein wird<sup>29</sup>.

Gleichzeitig mit dem Rückgang der Erdölförderung wird weltweit, besonders in den Entwicklungs- und Schwellenländern, mit einem starken Anstieg der Mobilität gerechnet. Nach Angaben des World Business Council for Sustainable Development wird sich bis 2050 der Mobilitätsbedarf weltweit verdreifachen (s. Grafik 2)<sup>30</sup>. Heute wird bereits über 60 % des gesamten Erdölverbrauchs im Verkehr eingesetzt (s. Grafik 3).

---

<sup>25</sup> vgl. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten von Fritsche und Wiegmann 2008, S. 23: „... wobei hier für Öl noch nicht die nennenswerte Nutzung unkonventioneller Ressourcen (ultratiefe Lager, Ölsände und -schiefer) angenommen wurde, sondern allein die absehbaren Effekte der Verschiebung von Lieferregionen, des vermehrten Einsatzes sekundärer Fördertechniken sowie der Emissionsreduktion für CH<sub>4</sub> (vermiedene Fackelverluste und Leckagen).“

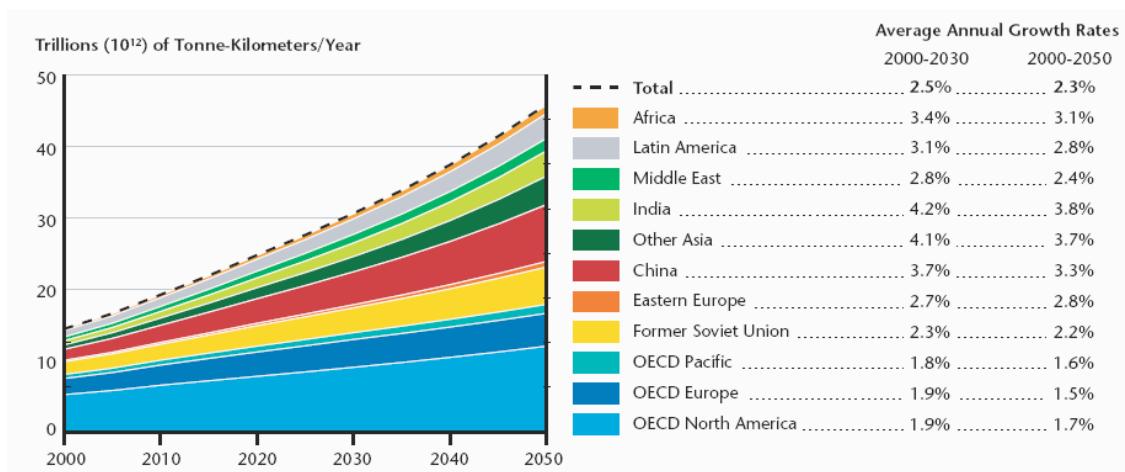
<sup>26</sup> IEA 2008b.

<sup>27</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2007.

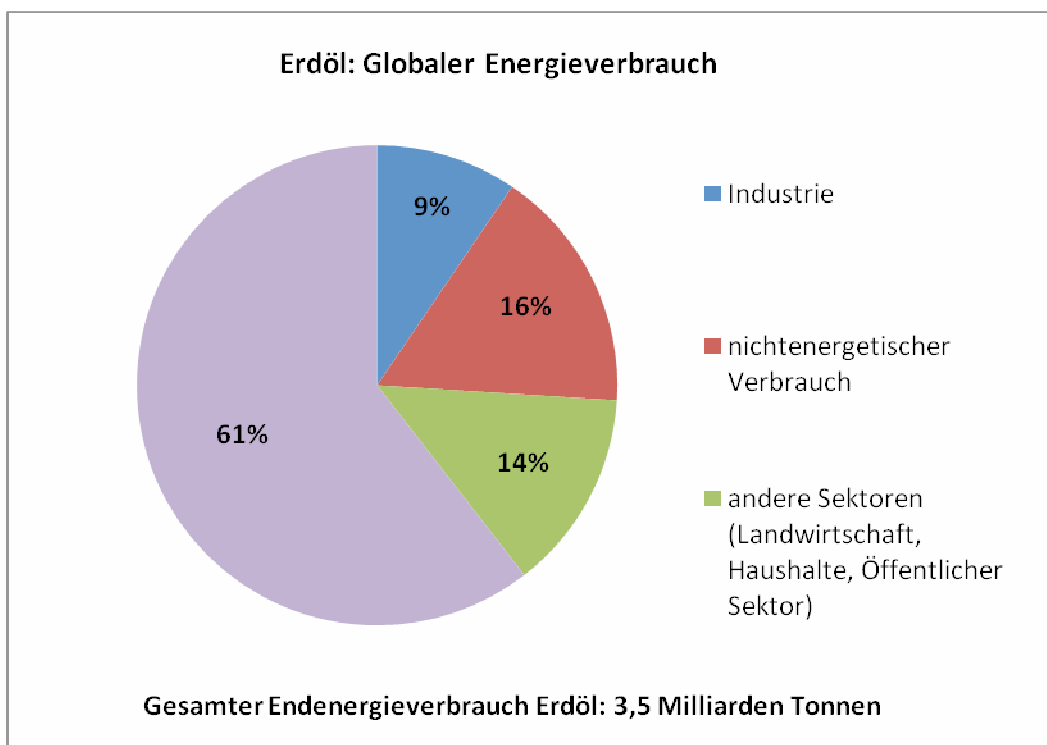
<sup>28</sup> Schindler und Zittel 2008.

<sup>29</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2007.

<sup>30</sup> World Business Council for Sustainable Development 2004.



Grafik 2: Entwicklung des weltweiten Mobilitätsbedarfs bis 2050<sup>31</sup>



Grafik 3: Globaler Endenergieverbrauch von Erdöl 2006<sup>32</sup>

<sup>31</sup> World Business Council for Sustainable Development 2004.

<sup>32</sup> IEA 2008a.

### 3.3 Alternativen für fossile Kraftstoffe

Anders als im Strom- und Wärmesektor gibt es momentan im Verkehrssektor nur zwei erneuerbare Energiealternativen, um die fossilen Energieträger zu ersetzen: Biokraftstoffe und Elektromobilität mit Strom aus Erneuerbaren Energien.

Es ist unrealistisch, dass Elektrofahrzeuge in den nächsten Jahrzehnten alleine die Lücke füllen können, die durch den Rückgang der Erdölförderung und den zunehmenden Mobilitätsbedarf entsteht. Bis 2020 wird der Anteil von Elektrofahrzeugen wahrscheinlich nur unter einem Prozent an der gesamten weltweiten Fahrzeugflotte liegen<sup>33</sup>. Danach wird ihre Bedeutung insbesondere durch die technologischen Fortschritte bei der Batterieherstellung stark zunehmen. Es wird aber sicherlich noch einige Jahrzehnte dauern, bis der Anteil von Elektrofahrzeugen auf über 50 % des gesamten Fahrzeugbestandes weltweit steigen wird. Die größten Hindernisse sind zurzeit die hohen Batteriekosten, die noch begrenzte Reichweite und die fehlende Infrastruktur zum Laden bzw. Austausch der Batterien. Außerdem können bestimmte Verkehrsleistungen (z.B. Flug- und Schiffsverkehr) nicht elektrifiziert werden.

Flüssige Kraftstoffe sind daher noch mehrere Jahrzehnte von großer Bedeutung für die globale Mobilität. Der WBGU kritisiert zwar den geringen Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren im Vergleich zu Elektromotoren, übersieht dabei aber die vielen Vorteile von flüssigen Kraftstoffen: die Möglichkeit leicht und mit hoher Dichte Energie zu speichern, zu transportieren und vielfältig einsetzen zu können. Nach Lahl sollten daher die Bioenergiepfade nicht hinsichtlich des Wirkungsgrades, sondern des Nutzwerts beurteilt werden<sup>34</sup>. Der Nutzwert eines Energieträgers wird durch seine Nutzungs-, Transport- und Lagerungsmöglichkeiten bestimmt. Flüssige Kohlenwasserstoffe haben hinsichtlich dieser Kriterien den höchsten Nutzwert im Vergleich zu Strom und Wärme. Biokraftstoffen kommt daher eine Schlüsselstellung für eine nachhaltige Energieversorgung zu.

Die hohe Wertigkeit von flüssigen Kraftstoffen zeigen auch die vielen Bemühungen, mit sehr großem technischem und finanziellem Aufwand diesen Energieträger herzustellen, wie z.B. Kohleverflüssigung (sog. Coal to Liquid, CtL), synthetische Biokraftstoffe (Biomass to Liquid, BtL), Algenöl und Förderung von Tiefseeöl aus bis zu 8.000 m Tiefe; sowie effektiver zu nutzen (z.B. durch aufwändige motorische Maßnahmen). Die vielen Konflikte in Regionen mit großen Erdölvorkommen verdeutlichen ebenfalls, wie begrenzt und begehrt der Rohstoff Erdöl ist<sup>35</sup>. Die zum Teil gewaltsamen weltweiten Proteste gegen hohe Erdölpreise im Jahr 2008 waren ein Vorspiel für zukünftige Rohstoffkonflikte, die besonders die Menschen in Entwicklungsländern mit sehr geringem Einkommen hart treffen werden<sup>36</sup>. Diese sicherheits- und entwicklungspolitischen Aspekte werden vom WBGU-Gutachten nicht thematisiert, sind aber wichtige Kriterien für die Bewertung der verschiedenen Bioenergiepfade.

---

<sup>33</sup> Vgl. McKinsey 2009a, Erber 2009. Das Bundesumweltministerium erwartet für Deutschland einen Elektrofahrzeuganteil von ca. 2,5 % im Jahr 2020.

<sup>34</sup> Lahl 2008.

<sup>35</sup> Seifert und Werner 2008.

<sup>36</sup> McSmith et al. 2008.

### 3.4 Unkonventionelle fossile Kraftstoffe: Treibhausgasemissionen, Umweltauswirkungen und Produktionskosten

Aufgrund der begrenzten Alternativen wird in der Zukunft ohne den starken Ausbau der Bio-kraftstofferzeugung die Produktion von fossilen Kraftstoffen aus unkonventionellen Quellen (Teersande, Schweröl und Ölschiefer) und Kohle (Kohleverflüssigung, sog. Coal to Liquid, CtL) zunehmen.

Die Treibhausgasemissionen fossiler Kraftstoffe werden dadurch deutlich ansteigen, weil die Emissionen unkonventioneller Erdöle und von CtL bis zu 190 % höher als konventionelles Erdöl sind:

	Treibhausgasemissionen (in g CO <sub>2</sub> eq/kWh)	Differenz zu konventionellem Erdöl
Kraftstoff aus konventionel- lem Erdöl	320	
Kraftstoff aus Teersand	388-474	+ 21-48 %
Kraftstoff aus Kohleverflüssi- gung (Coal-to-Liquid, CtL)	551-757	+ 72-137 %
Kraftstoff aus Ölschiefer	436-924	+ 30-189 %

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen von konventionellen und unkonventionellen fossilen Kraftstoffen<sup>37</sup>

Zu den hohen Treibhausgasemissionen von Kraftstoffen aus unkonventionellen Erdölquellen und CtL kommen noch weitere schwere Umweltschäden hinzu. In dieser Kurzstudie können nicht alle Umweltauswirkungen der unkonventionellen fossilen Kraftstoffe umfassend dargestellt werden. Daher werden im Folgenden nur beispielhaft einige der Umweltschäden der Herstellung von Kraftstoffen aus Teersand in Kanada aufgelistet:

*a) Zerstörung und Fragmentierung des borealen Nadelwaldes*

Die Teersandvorkommen Kanadas liegen unter einer Fläche von 15 Mio. ha borealen Nadelwald. Der boreale Nadelwald ist ein Ökosystem von großer globaler Bedeutung. 22 % des weltweit gespeicherten Kohlenstoffs in Landökosystemen befindet sich im borealen Nadelwald<sup>38</sup>. Pro Hektar enthält borealer Nadelwald mit bis zu 460 t Kohlenstoff doppelt soviel Kohlenstoff wie tropischer Regenwald<sup>39</sup>. Davon ist 84 % im Boden gespeichert<sup>40</sup>. Die Wald- und Bodenfläche über den Teersandvorkommen in Kanada speichert bis zu 7 Mrd. t

<sup>37</sup> Farrell und Brandt 2006, Toman et al. 2008.

<sup>38</sup> International Boreal Conservation Campaign 2008, 2009.

<sup>39</sup> Woods Hole Research Center 2007.

<sup>40</sup> Greenpeace 2008.

Kohlenstoff<sup>41</sup>. Durch den Teersandabbau können große Mengen Kohlenstoff freigesetzt werden:

- Zurzeit überwiegt noch die Förderung des Teersandes im Tagebau. Dadurch werden große Waldflächen gerodet und große Erdmassen bewegt, da der Teersand nur ca. 10–15 % Erdöl enthält.
- Durch In-Situ-Verfahren wird Wasserdampf in die Erde geführt und das verflüssigte Bitumen an die Oberfläche gepumpt. 93 % der Teersandreserven Kanadas können nur durch In-Situ-Methoden gewonnen werden<sup>42</sup>. Die Flächenzerstörung durch In-Situ-Verfahren ist geringer als durch den Tagebau. Für die Infrastruktur der Bohrarbeiten, des Öltransports und der Weiterverarbeitung werden aber ebenfalls große Waldflächen gerodet. Konservative Schätzungen erwarten eine Abholzung von ca. 10 % der Teersandfläche durch den zukünftigen In-Situ-Abbau<sup>43</sup>.
- Außerdem können Methanemissionen in den Schlammabsetzbecken der Teersandverarbeitung entstehen<sup>44</sup>.

Diese Emissionen sind noch nicht in den Werten der Tabelle 1 enthalten. Der Forschungsbedarf für die Analyse der Treibhausgasemissionen durch die Landnutzungsänderungen und die Produktionsstufen der Teersandherstellung ist noch sehr groß<sup>45</sup>.

#### *b) Wasserverbrauch und Gewässerverschmutzung*

Für die Herstellung eines Liter Kraftstoffs aus Teersand werden bis zu 4,5 Liter Wasser verbraucht und entstehen bis zu 6 Liter giftige Schlämme, die in Absetzbecken gelagert werden. Die Gesamtfläche der Absetzbecken beträgt ca. 50 km<sup>2</sup>. Alle Prozessschritte der Teersandverarbeitung verursachen schwere Verschmutzungen der Gewässer (Flüsse, Grundwasser, Seen und Moore)<sup>46</sup>.

#### *c) Luftverschmutzung*

Neben den Kohlendioxidemissionen werden noch große Mengen anderer Luftschadstoffe durch die vielen Prozessschritte der Teersandherstellung emittiert<sup>47</sup>.

---

<sup>41</sup> Eigene Berechnung nach Woods Hole Research Center 2007, International Boreal Conservation Campaign 2008.

<sup>42</sup> Woynillowicz et al. 2005, Greenpeace 2008.

<sup>43</sup> Schneider und Dyer 2006.

<sup>44</sup> Yeh et al. 2009.

<sup>45</sup> Yeh et al. 2009, International Boreal Conservation Campaign 2008.

<sup>46</sup> Griffiths et al. 2006, Woynillowicz et al. 2005.

<sup>47</sup> Woynillowicz et al. 2005.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung unkonventioneller fossiler Kraftstoffe können die bisher leicht zu fördernden und mit verhältnismäßig geringeren Emissionen verbundenen konventionellen fossilen Kraftstoffe nicht der alleinige Maßstab für die Berechnung der Treibhausgasminderung durch Biokraftstoffe sein. Biokraftstoffe verdrängen in der Regel die Förderung und Herstellung des teuersten Erdöls, des sogenannten Marginal Oil. Nach Berechnungen von Studien für US-amerikanische Regierungsinstitutionen sind Kraftstoffe aus Ölschiefer mit Produktionskosten zwischen 70 und 95 US\$/Barrel am teuersten. Die Produktion von Kraftstoff aus Teersanden kostet zwischen 28 und 37 US\$/Barrel, die Produktion von CtL zwischen 65 und 78 US\$/Barrel<sup>48</sup>. Diese Kostenkalkulation spiegelt sich auch in der aktuellen Produktion unkonventioneller fossiler Kraftstoffe wieder:

- Kraftstoff aus Teersanden wird bereits in Kanada im großindustriellen Maßstab produziert und trägt mit 1,2 Mio. Barrel/Tag bereits zu 1,5 % der weltweiten Erdölförderung bei. Bis 2015 wird ein Anstieg der Teersandproduktion auf 3 Millionen Barrel/Tag gerechnet. Die zweitgrößten weltweiten Teersand- bzw. Bitumenvorkommen befinden sich in Venezuela, werden dort aber noch nicht abgebaut. Aufgrund der politischen Situation wird nicht erwartet, dass Venezuela die Nutzung dieser Erdölreserven mittelfristig beginnt, da es dafür große Mengen ausländischen Kapitals benötigen würde<sup>49</sup>.
- Kraftstoff aus Kohleverflüssigung (CtL) wird derzeit nur in Südafrika von der Firma Sasol produziert. Es gibt zwar weltweit mehr als 30 geplante CtL-Projekte, davon befinden sich aber fast alle in der Phase der Machbarkeitsstudie. Nur zwei Projekte in China sind in der konkreten Planungsphase<sup>50</sup>.
- Ölschiefer wird zwar an verschiedenen Orten der Welt abgebaut. Es gibt aber noch keine Kraftstoffproduktion aus Ölschiefer. Die größten Ölschiefervorkommen befinden sich in den USA. Im Jahr 2005 hat die US-Regierung die Planungen zum Abbau von Ölschiefer und zur Ölproduktion aus Schiefer wieder aufgenommen<sup>51</sup>.

Die zukünftige Produktion von fossilen Kraftstoffen aus unkonventionellen Quellen und CtL wird nicht nur von den Produktionskosten, sondern auch von geografischen und strategischen Aspekten wie der Versorgungssicherheit abhängen. Die größten Vorkommen von unkonventionellen Erdölressourcen befinden sich auf dem amerikanischen Kontinent: Teersande in Kanada und Venezuela und Ölschiefer in den USA<sup>52</sup>. Die Kohlevorkommen sind dagegen weltweit auf zahlreiche Länder verteilt.

---

<sup>48</sup> Bartis et al. 2005, Toman et al. 2008.

<sup>49</sup> Schindler und Zittel 2008.

<sup>50</sup> World CTL 2009.

<sup>51</sup> U.S. Department of Interior 2008.

<sup>52</sup> Office of Deputy Assistant Secretary for Petroleum Reserves; Office of Naval Petroleum and Oil Shale Reserves 2004.

### 3.5 Treibhausgasvermeidung von Biokraftstoffen im Vergleich zu anderen Bioenergiepfaden

Um den Klimaschutzbeitrag von Biokraftstoffen im Vergleich zu anderen Bioenergiepfaden im Strom- und Wärmesektor zu bilanzieren, müssen die Treibhausgasemissionen von Marginal Oil berücksichtigt werden. Die Emissionsbilanzierung der Grafik 4 und der Tabelle 2 setzt diese Anforderung um und vergleicht die Treibhausgasemissionen pro Hektar verschiedener Bioenergiepfade.

Die Berechnung basiert auf folgenden Annahmen:

- Die Werte des WBGU-Gutachtens zu Flächenerträgen, Wirkungsgraden und Treibhausgasemissionen durch den Anbau und die Weiterverarbeitung der Bioenergie werden übernommen. Der substituierte Strommix (80 % Steinkohle, 20 % Erdgas-GuD<sup>53</sup>) für Strom aus Bioenergie und die Emissionsreferenzwerte des WBGU werden ebenfalls übernommen.
- Die Emissionen fossiler Kraftstoffe bzw. die Treibhausgasvermeidung durch Biokraftstoffe werden mit den Werten aus Tabelle 2 berechnet. Alle Technologien spiegeln den heutigen Stand der Technik wieder.
- Die Kohlenstoffspeicherung im Boden durch Holz-Kurzumtriebsplantagen (KUP) wird nicht berücksichtigt, da die Kohlenstoffakkumulation von vielen Faktoren abhängt (Nutzungsdauer der KUP, Bodeneigenschaften, Verluste durch Ernte) und auch bei einjährigen Kulturen große Kohlenstoffanreicherungspotenziale bestehen (s. Kapitel 4.1). Auch das WBGU-Gutachten bewertet die Kohlenstoffspeicherung im Boden durch KUP als nicht eindeutig<sup>54</sup>.
- Das WBGU-Gutachten schreibt der Stromerzeugung aus Biomasse eine zusätzliche Einsparung von Treibhausgasen gut, die sich aus der Abwärmenutzung der Kraftwerke ergibt. Im Gegensatz zum WBGU wird diese Gutschrift nicht berücksichtigt. Die Emissionseinsparung durch die Abwärmenutzung wird durch die Technologie der Kraft-Wärme-Koppelung erreicht – und nicht durch den Energieträger Biomasse. Dessen Klimabilanz muss daher differenziert betrachtet werden: Die Treibhausgaseinsparung, die durch die Vermeidung von fossilen Energieträgern erreicht wird, ist zu trennen von der Einsparung, die durch die zusätzliche Abwärmenutzung erreicht werden kann. Diese „Zweiteinsparung“ kann unabhängig davon erreicht werden, ob z.B. ein Blockheizkraftwerk (BHKW) die Kraft-Wärme-Koppelung mit einem fossilen oder biogenen Energieträger betreibt. Unabhängig davon, ob ein fossiler oder ein biogener Energieträger zum Einsatz kommt, ist die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Abwärmenutzung in beiden Varianten gleich. Daher darf für den Vergleich der Klimabilanzen von verschiedenen Nutzungspfaden der Bioenergie jeweils nur die substituierte Menge fossiler Energieträger als Berechnungsgrundlage dienen. Denn: Ob eine bestimmte Menge Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt wird oder mobil als Biokraftstoff zum Einsatz

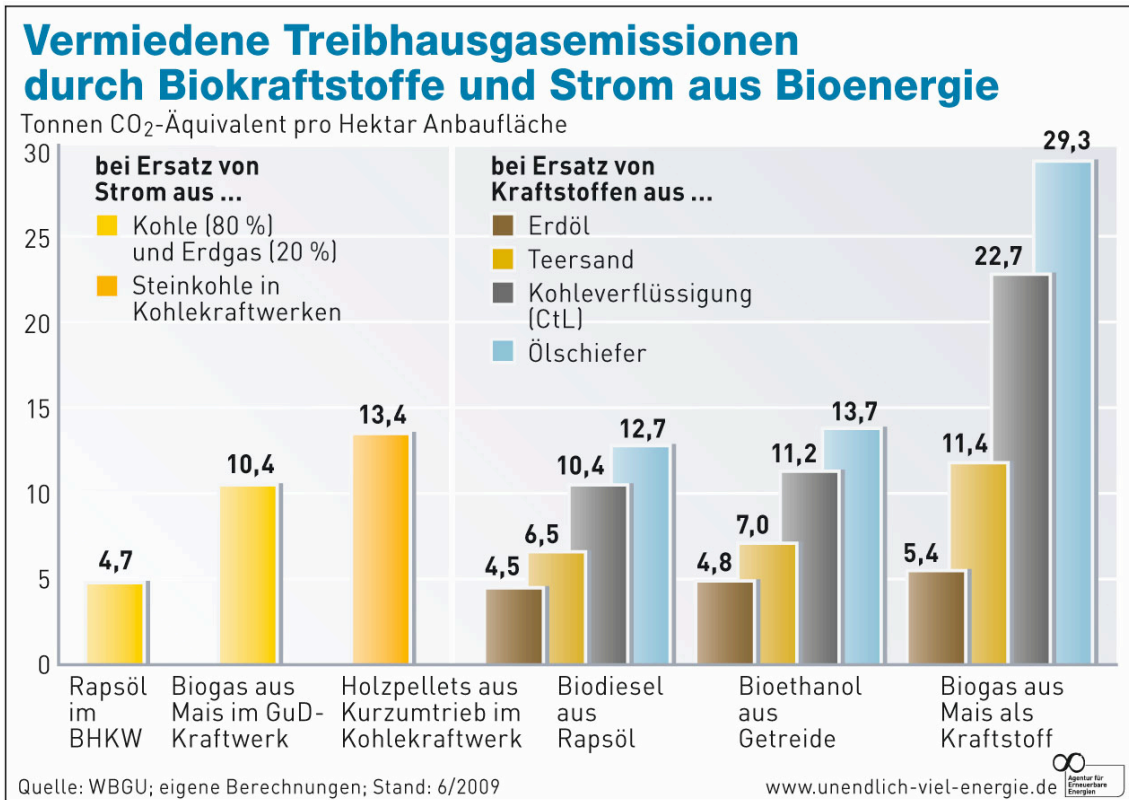
---

<sup>53</sup> Gas-und-Dampf-Kraftwerk

<sup>54</sup> WBGU 2008, S. 90, S. 150, S. 157.



kommt, ist für den verdrängten fossilen Energieträger egal. Sein Verbrennen und seine Emissionen werden in jedem der beiden Fälle vermieden. Würde der Stromerzeugung dabei jedoch die zusätzliche Abwärmenutzung als „Zweiteinsparung“ zugeschrieben, würde der Vergleich verzerrt.



Grafik 4. Vermiedene Treibhausgasemissionen von Biokraftstoffen und Strom aus Bioenergie

	Vermiedene Treibhausgasemissionen... (t CO <sub>2</sub> eq/ha*a)					
	...wenn Strom aus Kohle (80%) und Erdgas (20 %) ersetzt wird	...wenn Steinkohle im Kohlekraftwerk ersetzt wird	...wenn Kraftstoff aus konventionellem Erdöl ersetzt wird	...wenn Kraftstoff aus Teersand ersetzt wird	...wenn Kraftstoff aus Kohleverflüssigung (CTL) ersetzt wird	...wenn Kraftstoff aus Ölschiefer ersetzt wird
Rapsöl (BHKW)	4,7					
Biogas aus Mais (Einspeisung ins Erdgasnetz, GuD-Kraftwerk)	10,4					
Mitverbrennung von Holzpellets aus Kurzumtrieb im Kohlekraftwerk		13,4				
Biodiesel aus Rapsöl			4,5	6,5	10,4	12,7
Bioethanol aus Getreide			4,8	7,0	11,2	13,7
Biogas aus Mais als Kraftstoff			5,4	11,4	22,7	29,3

Tabelle 3: Treibhausgasemissionen von Biokraftstoffen und Strom aus Bioenergie in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Hektar Anbaufläche pro Jahr

Die Ergebnisse der Emissionsbilanzierung der Grafik 4 und der Tabelle 3 zeigen, dass Biokraftstoffe durch die Verdrängung von Marginal Oil mindestens genauso viele Treibhausgase pro Hektar vermeiden wie die besten Varianten der Stromerzeugung aus Biomasse. Biogas, als Kraftstoff genutzt, hat sogar einen mehr als doppelt so hohen Klimaschutzbeitrag.

Biokraftstoffe haben daher eine große Bedeutung für den Klimaschutz. Die fossilen Kraftstoffe im Verkehrssektor tragen bereits heute mit fast 8 Mrd. t Treibhausgasen zu ca. 30 % der energiebedingten globalen Emissionen bei<sup>55</sup>.

Die verkehrsbedingten Emissionen werden ohne Minderungsmaßnahmen weiter stark steigen. McKinsey erwartet einen Anstieg der weltweiten PKW-Emissionen um 54 % bis 2030, wenn keine Reduktion durch effizientere Antriebe, Biokraftstoffe und Elektromobilität, stattfindet<sup>56</sup>. Dieser Zuwachs basiert auf der Prognose, dass der globale PKW-Bestand bis 2030 auf 1,3 Mrd. Fahrzeuge wächst und sich damit nahezu verdoppelt. Durch die Produktion von Kraftstoffen aus unkonventionellen Erdölen und Kohle würde der Anstieg noch stärker ausfallen. Ohne Biokraftstoffe ist daher das Ziel, die globalen Treibhausgasemissionen bis 2050 zu halbieren, nicht erreichbar.

<sup>55</sup> eigene Berechnung nach IEA 2008a. Treibhausgasemissionswert 323 g/kWh. Vgl. Mc Kinsey 2009.

<sup>56</sup> Mc Kinsey 2009b.

## 4. Ökobilanz von ein- und mehrjährigen Energiepflanzen

Der WBGU empfiehlt, mehrjährige Energiepflanzen grundsätzlich vor einjährigen zu bevorzugen. Als Gründe nennt das WBGU-Gutachten die Kohlenstoffspeicherung im Boden, die Verbesserung der Bodeneigenschaften und die höhere Biodiversität der mehrjährigen Kulturen.

### 4.1 Kohlenstoffspeicherung im Boden

Die Kohlenstoffspeicherung ist für den WBGU ein wichtiges Kriterium für die Nachhaltigkeit von Anbausystemen. Durch KUP findet nach Angaben des WBGU eine jährliche Kohlenstoffspeicherung von 1,375 t CO<sub>2</sub>/ha statt<sup>57</sup>. Diese Anreicherung wird durch mehrere Studien belegt. Die Untersuchungen haben aber auch festgestellt, dass sich die Kohlenstoffakkumulation nach 5 bis 10 Jahren verlangsamt bzw. nicht mehr fortsetzt. Aufgrund der Unsicherheiten, wie viel Kohlenstoff dauerhaft im Boden verbleibt und welche Auswirkungen die Vor- und Nachnutzungen auf die Kohlenstoffbilanz haben, sieht der Naturschutzbund Deutschland (NABU) Kurzumtriebsplantagen (KUP) daher nur als temporäre Kohlenstoffsенke an<sup>58</sup>.

Auch das WBGU-Gutachten bewertet die Kohlenstoffspeicherung im Boden durch Kurzumtriebsplantagen als nicht eindeutig, da sie von der jeweiligen Nutzungsdauer abhängt und durch die regelmäßigen Ernten und Bodenbearbeitung erhebliche Mengen an Bodenkohlenstoff verloren gehen können. Diese Bewertung steht im deutlichen Widerspruch zur jährlichen Anrechnung von 1,375 t CO<sub>2</sub>/ha durch Kurzumtriebsplantagen.

Auch bei einjährigen Kulturen gibt es dagegen große Potenziale, den Kohlenstoffgehalt im Boden zu steigern<sup>59</sup>. Nach Lal können jährlich bis zu 1,2 t CO<sub>2</sub> durch die Steigerung des Humusgehaltes (geringere Bodenbearbeitung, Reduktion der Erosion durch ganzjährige Bodenbedeckung, veränderte Fruchtfolgen und Düngung) in den Boden eingebracht werden<sup>60</sup>. Das entspricht ungefähr der Menge, die in den ersten 5-10 Jahren durch Kurzumtriebsplantagen zusätzlich im Boden eingelagert werden kann. Nach einem Bericht der Europäischen Kommission können in Europa durch verbesserte landwirtschaftliche Praktiken jährlich zwischen 150 und 300 Mio. t CO<sub>2</sub> zusätzlich im Boden akkumuliert werden<sup>61</sup>. Der Forschungsbedarf zur Kohlenstoffeinlagerung ist noch sehr groß, da verschiedene Faktoren wie Bodenart und Klima die langfristige Kohlenstoffsequestrierung im Boden beeinflussen<sup>62</sup>.

### 4.2 Bodeneigenschaften und Biodiversität

Die Maßnahmen zur Steigerung des Humusgehaltes bei einjährigen Pflanzen führen nicht nur zu einer Kohlenstoffanreicherung, sondern auch zur Verbesserung der Bodeneigenschaften.

---

<sup>57</sup> Fritsche und Wiegmann 2008.

<sup>58</sup> Naturschutzbund Deutschland (NABU) 2008.

<sup>59</sup> Vgl. FAO 2009.

<sup>60</sup> Lal 2009.

<sup>61</sup> Alterra et al. 2008.

<sup>62</sup> Vgl. Bezdicsek et al. 2002, Biopact 2008, Climate Progress 2008, Science Daily 2005, Rice 2009.

Daher gibt es auch bei einjährigen Pflanzen noch große Potenziale zur Optimierung der Bodeneigenschaften<sup>63</sup>.

Das WBGU-Gutachten nennt außerdem die höhere Biodiversität als Vorteil mehrjähriger Anbaukulturen. Der NABU sieht dagegen durch Kurzumtriebsplantagen nur eine geringe Bereicherung der Biodiversität agrarischer Nutzflächen. Kurzumtriebsplantagen können aber ausgeräumte, gehölzarme Landschaft bereichern<sup>64</sup>.

### 4.3 Zukünftige Entwicklung ein- und mehrjähriger Energiepflanzen

Der einseitige Fokus auf mehrjährige Pflanzen, insbesondere holzartige Pflanzen, grenzt die Nutzungspfade der Bioenergie stark ein:

- Holz kann bislang nur zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Die Nutzung von Holz für die Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen, der sogenannten Biokraftstoffe der 2. Generation (Biomass to Liquid, BtL), ist noch nicht großindustriell verfügbar.
- Die Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen ist gegenüber anderen Anbaukulturen noch deutlich geringer<sup>65</sup>. Kurzumtriebsplantagen erbringen in der Regel deutlich geringere Deckungsbeiträge als andere Kulturen. Wirtschaftlichkeit oder wirtschaftliche Vorzüglichkeit sind daher meist nicht gegeben.
- Die Nutzung von Ölbäumen ist bisher fast nur auf die afrikanische Ölpalme beschränkt. Die Jatropha-Pflanze (*Jatropha Curcas*) wird zwar zunehmend weltweit angebaut. Es gibt bislang aber nur geringe Mengen von Jatrophöl auf den Weltmarkt. Die schnelle Entwicklung des Anbaus von Jatropha-Pflanzen wird durch mehrere Probleme gebremst:
  - Es gibt bislang noch wenig Erfahrungen mit der Kultivierung der Wildpflanze<sup>66</sup>.
  - Die Pflanze kann zwar auf marginalen Böden in trocknen Klimazonen wachsen. Sie bringt aber nur hohe Erträge auf guten Standorten mit ausreichender Wasserversorgung<sup>67</sup>. Entgegen vieler Behauptungen gibt es zahlreiche Schädlinge, die Jatropha-Pflanzen befallen können und den Einsatz von Pestiziden erfordern<sup>68</sup>.
  - Der Anbau von *Jatropha Curcas* ist sehr arbeitsintensiv, insbesondere durch die sehr aufwendige manuelle Ernte<sup>69</sup>. Um einen Liter Öl zu gewinnen, müssen bis

---

<sup>63</sup> Vgl. Schrimpff 2008a, b.

<sup>64</sup> Naturschutzbund Deutschland (NABU) 2008

<sup>65</sup> Wagner 2009, Top Agrar 2009, vgl. Vetter 2008, Kröber et al. 2009.

<sup>66</sup> Jongschaap, et al. 2007, UNEP 2007a,b.

<sup>67</sup> Jongschaap, et al. 2007, Reuters 2009. Luoma 2009, Gokhale 2009, vgl. Reinhardt et al. 2007.

<sup>68</sup> Alfonso 2008.

<sup>69</sup> Biopact 2007, Blake 2008, Hennig, 2004a, b, Carmélio 2008.

zu 2.000 Jatrophafrüchte einzeln geerntet werden. Daher ist bisher der Anbau nur in Ländern mit Lohnkosten unter 1-2 Dollar pro Tag wirtschaftlich<sup>70</sup>.

- Es wird daher noch ein Forschungsbedarf von mind. 10- 15 Jahren gesehen<sup>71</sup>. Daher kann erst in 20 Jahren mit einem größeren Beitrag zum weltweiten Energieverbrauch gerechnet werden. Die Ölpalme wird dagegen seit mehreren Jahrzehnten angebaut. Deswegen hat die Ölpalme mit den gleichen Anbaubedingungen einen mehr als drei- bis vierfach so hohen Ertrag wie Jatropha.
- Es gibt zwar weltweit mehr als 2.000 Pflanzenarten, die für die Ölproduktion geeignet sind<sup>72</sup>. Die meisten sind aber nicht kultivierte Wildpflanzen<sup>73</sup>. Daher gibt es noch viel Forschungsbedarf.

Die Forschung sollte daher sowohl die ein- als auch die mehrjährigen Energiepflanzen weiter entwickeln.

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Diese Kurzstudie bewertet die wesentlichen Ergebnisse des WBGU-Gutachten "Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung":

- Die Potenzialanalyse des WBGU kommt zu dem Ergebnis, dass die Bioenergie zukünftig nur einen begrenzten Beitrag zur Energieversorgung leisten kann.
- Der WBGU sieht den größten Beitrag der Bioenergie zum Klimaschutz im Stromsektor und fordert daher den schnellen Ausstieg aus der Biokraftstoffförderung.
- Der WBGU sieht außerdem mehrjährige Anbaukulturen als grundsätzlich positiver als einjährige Energiepflanzen an.

Die Ergebnisse des Gutachtens sind auf folgende Gründe zurückzuführen:

- Der WBGU stellt die Risiken der Bioenergienutzung in den Vordergrund.
- Die Potenzialabschätzung für Bioenergie ist sehr konservativ und berücksichtigt nicht die Ertragssteigerungspotenziale auf degradierten Flächen durch die Regenerierung der Böden.
- Die Treibhausgasbilanzierung der verschiedenen Nutzungspfade von Bioenergie ist eine Status-Quo-Betrachtung, die die zukünftigen Emissionen von fossilen Kraftstoffen aus Teersand, Ölschiefer und Kohle nicht betrachtet.

---

<sup>70</sup> Rijssenbeek 2007.

<sup>71</sup> Voegele 2008, Gokhale 2009.

<sup>72</sup> Schrimppf 2002, vgl. Elsbett 2009.

<sup>73</sup> Vgl. Crocorno und Melo 1996. Sustainable Bio Brazil 2009.

- Die Verbesserungsmöglichkeiten von einjährigen Energiepflanzen fließen nicht in den Vergleich der Anbaukulturen ein.

Diese Kurzstudie sieht dagegen einen deutlich größeren zukünftigen Beitrag der Bioenergie zum Klimaschutz:

- Energiepflanzen, weltweit auf der Hälfte der degradierten Flächen angebaut, können zusammen mit den biogenen Reststoffen die Hälfte des gesamten heutigen Primärenergieverbrauchs decken. Ein Viertel der degradierten Fläche ist notwendig, um die Hälfte des heutigen globalen Kraftstoffverbrauchs zu decken.
- Biokraftstoffe vermeiden durch die Verdrängung von Marginal Oil mindestens genauso viel Treibhausgase pro Hektar wie die besten Varianten der Stromerzeugung aus Biomasse.
- Die verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen ist auch aus sicherheits- und entwicklungspolitischen Aspekten notwendig, um Konflikte um das immer knapper werdende Erdöl zu vermeiden und Energierohstoffimporte von Entwicklungsländern zu reduzieren.
- Die Bioenergie kann einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des ländlichen Raumes leisten:
  - Rekultivierung und Regenerierung der weltweiten degradierten Flächen
  - Reduzierung der Abhängigkeit von Erdölimporten durch dezentrale Strom-, Wärme- und Kraftstoffproduktion aus Bioenergie
  - Revitalisierung des ländlichen Raumes in den Entwicklungsländern, um die Landflucht und das Wachstum der Mega-Citys zu begrenzen
- Die Überprüfung und Umsetzung der EU-Nachhaltigkeitskriterien sichert nicht nur einen Netto-Klimaschutzbeitrag der in der EU genutzten Biokraftstoffe, sondern treibt auch die Verankerung von global gültigen ökologischen Standards im Weltagrarhandel voran. Die Bestrebungen für eine nachhaltige Nutzung von Bioenergiepotenzialen können außerdem den Einstieg in eine notwendige weltweite Flächennutzungsplanung fördern.

Es müssen heute die richtigen Weichen für die Bioenergienutzung der nächsten Jahrzehnte gestellt werden. Die nur einseitige Nutzung der Bioenergie zur Strom- und Wärmeerzeugung ist zu kurzfristig und gefährdet die Umsetzung der weltweiten Klimaschutzziele.

## 6. Quellenverzeichnis

Alfonso, J.A. 2008: Manual para el cultivo del piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. Proyecto Gota Verde, La Lima, Cortés, Honduras.

Alterra et al. 2008: Review of existing information on the interrelations between soil and climate change (CLIMSOIL), Final Report for the European Commission.

Bartis, J.T.; LaTourrette, T.; Dixon, L.I.; Peterson, D.J. und Cecchine, G. 2005: Oil Shale Development in the United States. Prospects and Policy Issues. Vorbereitet für das National Energy Technology Laboratory des US Department of Energy. RAND Corporation, Santa Monica.

Bayerische Landeszentrale für Politische Bildungsarbeit 2003: 10 Jahre nach "Rio" - Was bewirkte die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung?  
<http://www.stmuk.bayern.de/blz/web/rio+10/index.html>

Beringer, T. und Lucht, W. 2008: Simulation nachhaltiger Bioenergiepotentiale. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin.

Bezdicsek, D.; Fauci, M.; Albrecht, S. und Skirvin, K.: Soil Carbon and C Sequestration Under Different Cropping and Tillage Practices in the Pacific Northwest. Vortrag, Direct Seed Conference, 16.-18. Januar 2002.

Biopact 2007: Analysts: labor-intensive *Jatropha* not a magic bullet.  
<http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/09/analysts-labor-intensive-jatropha-not.html>

Biopact 2008: No-till in trouble: increased N<sub>2</sub>O emissions offset reduced CO<sub>2</sub> emissions in some soils. <http://news.mongabay.com/bioenergy/2008/10/no-till-in-trouble-increased-n2o.html>

Blake, C. 2008. UC Davis studying *jatropha* as potential Southern California oil crop. Western Farm Press. [http://westernfarmpress.com/news\\_archive/oil-crop-1215/](http://westernfarmpress.com/news_archive/oil-crop-1215/)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2007: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2005. Stand: 31. Dezember 2007.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) 2009: Agrarsubventionen abbauen – Chancen der Entwicklungsländer verbessern.  
<http://www.bmz.de/de/themen/ernaehrung/agrarsubventionen/index.html>

Bundesverband Pflanzenöle 2009: Ölpflanzen-Lexikon. [http://www.bv-pflanzenoele.de/oel\\_lexikon\\_main.html](http://www.bv-pflanzenoele.de/oel_lexikon_main.html)

Burger, A. 2008: Mexico & Agaves: Moving from Tequila to Ethanol. In: Renewable Energy World, 8/2008.

Carmélio, E. 2008: Lessons learned: A Brazilian Programme for Procuring Feedstock from the Smallholders. Vortrag, "International Consultation on Pro-poor Jatropha Development" der United Nation Foundation, der IFAD (International Fund for Agricultural Development) und der FAO. Rom, 10.-11. April 2008.

Climate Progress 2008: No-till farming does NOT save carbon and is NOT a carbon offset. <http://climateprogress.org/2008/05/21/no-till-farming-does-not-save-carbon-and-is-not-a-carbon-offset>

Crocomio O.J. und Melo M. 1996: Acrocomia Species (Macauba Palm). In: Biotechnology in Agriculture and Forestry 35.

Elsbett, G. 2009: Die Normung von Pflanzenölen als Kraftstoff. <http://www.elsbett.com/fileadmin/elsbett/archiv/de/gepflanzenoelnorm.pdf>

Erber, C. 2009: Experten bremsen Elektroauto-Euphorie. NDR-Info, 03. April 2009.

Estrada, D. 2009: Chile: Wälder im Visier der Biotreibstoffindustrie. IPS Inter Press Service Europa, Santiago.

Faaij, A. 2008: Bioenergy and global food security. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin 2008.

FAO 2009: FAO setzt auf konservierende Bodenbearbeitung. Zitiert in Proplanta, 09. Februar 2009. [http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/agrar\\_news\\_themen.php?SITEID=1140008702&WEITER=99&MEHR=99&Fu1=1234141730&Fu1Ba=1140008702](http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/agrar_news_themen.php?SITEID=1140008702&WEITER=99&MEHR=99&Fu1=1234141730&Fu1Ba=1140008702)

Farrell, A.E. und Brandt, A.R. 2006: Risks of the Oil Transition. Energy and Resources Group, University of California, Berkeley. <http://stacks.iop.org/ERL/1/014004>

Fritsche, U.R. und Wiegmann, K. 2008: Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin 2008.

Gokhale, D. 2009: Jatropha: Experience of Agro-Forestry & Wasteland Development Foundation, Nashik, India. Vortrag, CHI Biofuels Conference. Washington DC, 21. April 2009.

Greepeace 2008: Turning Up the Heat. Global Warming and the Degradation of Canada's Boreal Forest.

Griffiths, M.; Taylor, A. und Woynillowicz, D. 2006: Troubled Waters, Troubling Trends. Technology and Policy Options to Reduce Water Use in Oil and Oil Sands Development in Alberta. Pembina Institute Report.



Hennig, R.K. 2004a: Integrierte ländliche Entwicklung durch die Nutzung von *Jatropha curcas* L. in Tansania. Vortrag, Konferenz "Erneuerbare Energien in der Partnerschaftsarbeit", Hamburg, 24. April 2004.

Hennig, R.K. 2004b: The *Jatropha* System – Economy & Dissemination Strategy. Integrated Rural Development by Utilisation of *Jatropha curcas* L. (JCL) as Raw Material and as Renewable Energy. Vortrag, Konferenz Renewables 2004, Bonn, 01.-04. Juni 2004.

Hoogwijk, M.; Faaij, A.; Eickhout, B.; de Vries, B. und Turkenburg, W. 2005: Potential of biomass energy out to 2100 for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass & Bioenergy* 29, 225–257.

International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD) 2009: Business as Usual is Not an Option: Trade and Markets.

International Boreal Conservation Campaign 2008: Canada's Tar Sands.  
<http://www.borealbirds.org/resources/factsheet-ibcc-tarsands.pdf>

International Boreal Conservation Campaign 2009: Boreal Forest Protection Critical in World's Fight against Global Warming: <http://www.interboreal.org/globalwarming>

Internationale Energieagentur (IEA) 2008: Key World Energy Statistics 2008.

IEA/OECD 2008: World Energy Outlook 2008. Executive Summary.

Institut für Energie und Umweltforschung (IfEU) Heidelberg 2007: Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie: Optionen und Potenziale für die Zukunft.

Institut für Energetik und Umwelt (IE) Leipzig 2008: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Stromerzeugung aus Biomasse.

Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut 2008: Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen. Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie, März 2008, Braunschweig.

Jongschaap, R.E.E. et al. 2007: Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International. Wageningen.

Klenk, I. 2008: Nachhaltigkeitsanforderungen an Biokraftstoffe. Position der Südzucker Gruppe. Vortrag, Fachausschuss Flüssige Bioenergieträger, Hannover, 12. November 2008.

Kraft, W. 2008: Kurzumtriebsplantagen – Eignung als Kompensationsmaßnahme? Vortrag, Konferenz „Energieholz auf dem Acker – zwischen Eingriff und Ausgleich“, Insel Vilm, 01.-04. September 2008.

Kröber, M.; Hank, K. und Wagner, P. 2009: Zur Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen.

<http://lb.landw.uni-halle.de/titel/t0712a.htm>

Lahl, U. 2008: Ölwechsel. Biokraftstoffe und nachhaltige Mobilität.

Lal, R. 2009: Carbon Sequestration and Soil – Climate Change Carbon Management and Sequestration Center The Ohio State University Columbus.

<http://www.slideshare.net/edtech.isu/carbon-sequestration-and-soil-climate-change>

Lal, R. 2001: Soil Conservation For C Sequestration. School of Natural Resources, Ohio State University, Columbus.

Lal, R. 2006: Land area for establishing biofuel plantations. STAP Technical Workshop “Liquid Biofuel”. In: Energy for Sustainable Development, Vol. X, Nr. 2, Juni 2006.

Lehmann, J.; Gaunt, J. und Rondon, M. 2006: Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (2006) 11: 403–427.

Lehmann, J. und Rondon, M. 2006: Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. In: Uphoff, N. 2006: Biological Approaches to Sustainable Soil Systems.

Lehmann, J. 2007: Bio-energy in the Black. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, New York.

Lehmann, J.; Kern, D.; German, L.; McCann, J.; Coimbra Martins, G. und Moreira, A. 2003: Soil Fertility And Production Potential. In: Lehmann, J.; et al: Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management. S. 105-124.

Luoma, J.R. 2009: Hailed as a miracle biofuel, jatropha falls short of hype. In: The Guardian, 05. Mai 2009. <http://www.guardian.co.uk/environment/2009/may/05/jatropha-biofuels-food-crops>

Lynden, van G.W.J. 2004: European and World Soils: Present Situation and expected Evolution.

Mazzucato, V. und Niemeijer, D. 2001: Overestimating land degradation, underestimating farmers in the Sahel.

McKinsey 2009a: Marktanteil von Hybrid- und Elektrofahrzeugen liegt 2020 bei bis zu 33%. In: Automobiltechnische Zeitschrift, 20. April 2009.

McKinsey 2009b: Roads toward a low-carbon future: Reducing CO<sub>2</sub> emissions from passenger vehicles in the global road transportation system.

McSmith, A.; Taylor, J. und Morris, N. 2008. Shocked! How the oil crisis has hit the world. In: The Independent, 31. Mai 2008.

Metzger, J.O. und Hüttermann, A. 2004: Begrünt die Wüste durch CO<sub>2</sub>-Sequestrierung. In: Nachrichten aus der Chemie, November 2004.

Metzger, J. O. und Hüttermann, A. 2006: Beyond Oil and Gas: Vorschläge für eine künftige Energiewirtschaft. In: Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, Gesellschaft Deutscher Chemiker. 12. Jahrgang, Nr. 3/2006, S. 71-73.

Metzger, J. O. und Hüttermann, A. 2009: Sustainable global energy supply based on lignocellulosic biomass from afforestation of degraded areas. In: Naturwissenschaften, Vol. 96, Nr. 2, Februar 2009.

Millennium Ecosystem Assessment 2005: Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington DC.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Sepsa) 1991: Manual Descriptivo de la leyenda del Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica.

Müller-Langer, F.; Perimenis, A.; Brauer, S.; Thrän, D. und Kaltschmitt, M. 2008: Technische und ökonomische Bewertung von Bioenergie-Konversionspfaden. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin 2008.

National Center for Appropriate Technology (NCAT) 2002. Biodiesel: A Brief Overview. <http://www.lightwatcher.com/sustainus/archives/biodiesel.pdf>

Naturschutzbund Deutschland (NABU) 2008: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. Berlin, November 2008.

Office of Deputy Assistant Secretary for Petroleum Reserves; Office of Naval Petroleum and Oil Shale Reserves 2004: Strategic Significance of America's Oil Shale Resource. Volume I, Assessment of Strategic Issues. März 2004, Endbericht.

Peak Oil Forum 2009: Interview mit Frau Prof. Dr. C. Kemfert, DIW-Berlin.

Pingel, L. 2008: Anbau von Ölpflanzen in den Tropen und Subtropen für die Herstellung biogener Kraftstoffe – Am Beispiel des südlichen Afrikas.

Pretty, J. und Hine, R. 2001: Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture: A Summary of New Evidence. Finaler Bericht, SAFE-World Research Project, University of Essex, Colchester. <http://www.essex.ac.uk/ces/esu/occasionalpapers/SAFErepSUBHEADS.shtm>

Pretty, J.N.; Noble, A.D.; Bossio, D.; Dixon, J.; Hine, R.E.; Penning de Vries, F.W.T. und Morison, J.I.L. 2006: Resource-Conserving Agriculture Increases Yields in Developing Countries. In: Environmental Science & Technology, Vol. 40, Nr. 4, 2006.

Reinhardt, G. et al. 2007. Screening Life Cycle Assessment of Jatropha Biodiesel. <http://www.ifeu.de/index.php?bereich=lan&seite=jatropha>

Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Gärtner, S. und von Falkstein, E. 2008: Greenhouse gas balances for VERBIO ethanol as per the German Biomass Sustainability Ordinance (BioNachV). Final report.

Reuters 2009: Jatropha for biodiesel not a miracle crop: D1 Oils. 01. April 2009. <http://af.reuters.com/article/investingNews/idAFJQE5300DN20090401>

Rice, Ch.W. 2009: Soil Carbon Sequestration in Agriculture. Consortium for Agricultural Soils Mitigation of Greenhouse Gases, Department of Agronomy. <http://www.casmsgs.colostate.edu>

Rijssenbeek, W. 2007: Global Position of Jatropha. Vortrag, Expert Meeting Jatropha, Brüssel, 07. Dezember 2007. [http://ec.europa.eu/research/agriculture/pdf/events/1jatropha\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/agriculture/pdf/events/1jatropha_en.pdf)

Rosner, J.; Zwatz, E.; Klik, A. 2003: Minimalbodenbearbeitung und Erosionsschutz. Vortrag, 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, 29. und 30. April 2003.

Rödl, A. 2008: Arbeitsbericht: Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb. Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut, Hamburg, August 2008.

Schindler, J. und Zittel, W. 2008: Zukunft der weltweiten Erdölversorgung. Energy Watch Group/Ludwig-Bölkow-Stiftung, Mai 2008

Schininger, I. 2008: Globale Landnutzung. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin 2008.

Schneider und Dyer 2006: Death by a thousand Cuts. Impacts of In Situ Oil Sands Development on Alberta's Boreal Forest.

Schrimppf, E. 2002: Die Stellung von Pflanzenöl im Vergleich mit anderen biogenen Kraftstoffen. In: Infobrief der E.F.-Schumacher-Gesellschaft für Politische Ökologie, Jahrgang 4, Ausgabe 3/4, August 2007.

Schrimppf, E. 2008a: Erdöl-Verknappung und Biotreibstoffe. Zu den Kriterien von zukunftsfähigen biogenen Treibstoffen. [http://www.bv-pflanzenoel.de/pdf/Plakat\\_BVP\\_Nov%202008\\_08.pdf](http://www.bv-pflanzenoel.de/pdf/Plakat_BVP_Nov%202008_08.pdf)

Schrimppf, E. 2008b: Biomasse – Chancen und Risiken für globalen Klimaschutz, biologische Vielfalt, Ernährungs- und Versorgungssicherheit sowie Armutsbekämpfung unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Energiebilanzen sowie zukünftigen Entwicklungen von Bioenergiemärkten. Stellungnahme des Bundesverband Pflanzenöle e.V. für die öffentliche Anhörung der drei Ausschüsse für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, sowie für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit des Deutschen Bundestages, Berlin, 20. Februar 2008.

Science Daily 2005: Capturing Carbon. A Key Benefit Of No-Till Soil Management. 27. April 2005.

Seifert, T. und Werner, K. 2008: Schwarzbuch Öl. Eine Geschichte von Gier, Krieg, Macht und Geld.

Shaxson, S. 2009: Verflucht sei das Erdöl. Nigeria ist verschmutzt, korrupt und zersplittert. In: Le Monde Diplomatique, 13. März 2009.

Smeets, E.M.W.; Faaij, A.P.C.; Lewandowski, I.M. und Turkenburg, W.C. 2007: A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. In: Progress in Energy and Combustion Science 33 (1), 56–106.

Sonneveld, B.G.J.S und Dent, D.L. 2007: How good is GLASOD? In: Journal of Environmental Management.

Sustainable Bio Brazil 2009: Producing Both Food & Fuel Through Planting of Oil Seed Trees and Beans/Vegetables. <http://www.sustainablebiobrazil.com/FOOD&FUEL.html>

Toman, M.; Curtright, A.E.; Ortiz, D.S.; Darmstadter, J. und Shannon, B. 2008: Unconventional Fossil-Based Fuels. Economic and Environmental Trade-Offs. Bericht für die National Commission on Energy Policy. Rand Corporation, Santa Monica, 2008.

Top Agrar 2009: Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen stockt. 07. April 2009.

UNEP 2007a: Empowering Rural Communities by Planting Energy. Background paper for the Roundtable on Bioenergy Enterprise in Developing Regions. [http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0710\\_UNEP\\_-\\_Background\\_paper\\_jatropha\\_sustainability\\_roundtable.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0710_UNEP_-_Background_paper_jatropha_sustainability_roundtable.pdf)

UNEP 2007b: Empowering Rural Communities by Planting Energy. Final Report of the Roundtable on Bioenergy Enterprise in Developing Regions. [http://www.unepie.org/energy3/act/bio/doc/rsb/paris\\_roundtable%20on%20jatropha%20-%20report%20final.doc](http://www.unepie.org/energy3/act/bio/doc/rsb/paris_roundtable%20on%20jatropha%20-%20report%20final.doc)

Universität Münster 2002: Projekt Hypersoil. <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/02/02/01.htm>

United States Department of Agriculture (USDA) 2008: World Agricultural Production.

US Department of Interior 2008: Potential: 800 Billion Barrels of Recoverable Oil. Office of the Secretary, 22. Juli 2008.

Velez, A. 2008: Agave Project Presentation. <http://www.slideshare.net/agaveproject/Agave-Project-Presentation>

Verbio 2008: Biofuel and Technology. Hintergrundinformationen für die Pressekonferenz am 25. November 2008.

Vetter, A. 2008: Statusbericht zur Energiepflanzenproduktion. Vortrag, BtL-Kongress, Berlin, 15. Oktober 2008. [http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/BtL\\_Berlin\\_2008/3\\_Vetter.pdf](http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/BtL_Berlin_2008/3_Vetter.pdf)

Voegele, E. 2008: The Truth Behind the Claims. In: Biodiesel Magazine, November 2008.  
[http://www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article\\_id=2877](http://www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article_id=2877)

Wagner, P. 2009: Wirtschaftlichkeit des Energieholzanbaus in Kurzumtriebsplantagen. Vortrag, Konferenz „Anbau schnellwachsender Baumarten“, Bernburg-Strenzfeld, 18. Februar 2009.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) 2008: Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Stand: 31. Oktober 2008.

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie; Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen (IGW) 2008: Abschlussbericht Screening von Umsetzungsfaktoren für innovative Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen in Nordhessen. Modul 2: Biomethan aus Schlempevergärung.

Woods Hole Research Center 2007: Boreal North America.  
<http://www.whrc.org/borealNAmerica/index.htm>

Woolf, D. 2008: Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications.

Woynillowicz, D.; Severson-Baker, C. und Reynolds, M. 2005: Oil Sands Fever. The Implications of Canada's Oil Sands Rush. Pembina Institute Report.

World Business Council for Sustainable Development 2004: Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability. The Sustainable Mobility Project, Full Report.

World CtL 2009: The World Coal to Liquids Conference 2009: Questions and Answers. Washington DC, 25.-27. März 2009.

Worldwatch Institute 2006: Biofuels for Transportation. Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century. Submitted Report, Prepared for BMELV, in cooperation with GTZ and FNR.

Yeh, S.; Jordaan, S.; Brandt, A. und Spatari, S. 2009. Land Use Greenhouse Gas Emissions for Conventional and Unconventional Oil Production. Institute of Transportation Studies, University of California.