

**Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und  
Landschaftsentwicklung**

**Band 6**

## **Holzerzeugung in der Landwirtschaft**

Beiträge zur 3. Fachtagung „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“  
Kooperationsveranstaltung von DENDROM, AGROFORST und AGROWOOD  
an der BTU Cottbus vom 28.-30.04.2008

**Herausgegeben von**

**BMBF-Verbundforschungsvorhaben DENDROM und  
Forschungszentrum Landschaftsentwicklung u. Bergbaulandschaften  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus**



### 3 Literatur

- Allegro, G. und Sciaky, R. 2003: Assessing the potential role of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in poplar stands, with a newly proposed ecological index (FAI). *Forest Ecology and Management* 175: 275 - 284
- Bungart, R. und Hüttel, R.F., 2004: Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. *European Journal of Forest Research* 123 (2) 105-115.
- Hoffmann, V. 2007: Energieholzflächen und Wild – bearbeitet an Untersuchungsflächen bei Cahnsdorf und Wilmersdorf. Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz der Fachhochschule Eberswalde.
- Sachs, D. 2007: Erfassung der Laufkäfer (Carabidae) auf der Kurzumtriebsplantage Thammenhain in Nordsachsen und auf der Kurzumtriebsplantage Cahnsdorf in Südbrandenburg. Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz der Fachhochschule Eberswalde.

## Ökobilanzierung des Lebensweges von Holz aus Kurzumtrieb

Anne Rödl

Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg

### 1 Einleitung

Der Bedarf von Holz sowohl zur stofflichen als auch energetischen Verwertung wird in den nächsten Jahren noch weiter ansteigen. Im Januar dieses Jahres veröffentlichte die Kommission der Europäischen Union ihre Strategie zur Förderung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 (EC 2008). Insgesamt 20% des Gesamtenergieverbrauchs der EU sollen bis dahin aus erneuerbaren Quellen stammen. Dem zugrunde liegt eine sogenannte „Roadmap“ der EU (EC 2007), die beschreibt, wie diese Ziele erreicht werden könnten. Dabei soll vor allem auf eine Steigerung der Verwendung von Holz und Energiepflanzen zur Energieerzeugung gesetzt werden. Auch die Bundesregierung strebt eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien zur Erreichung ihrer ehrgeizigen Klimaziele an. Biomasse soll dazu einen erheblichen Teil beitragen. Gleichzeitig wird großer Wert auf die Wahrung ökologischer Standards beim Aufbau von Biomasse gelegt (BUNDESREGIERUNG 2007).

Die Verbrennung von Holz anstatt fossiler Energieträger stellt eine Option zur CO<sub>2</sub>-Nettoemissionsverminderung dar. Das dafür benötigte Holz könnte zusätzlich im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen erzeugt werden, um den steigenden Bedarf zu decken. Dabei stellt sich jedoch die Frage, ob die Holzherzeugung außerhalb des Waldes und dessen anschließende Verwendung tatsächlich den Ausstoß von Treibhausgasen reduzieren kann, oder ob dadurch nicht eventuell zusätzliche Emissionen in die Atmosphäre gelangen. Deshalb ist es notwendig, die Stoff- und Energieflüsse des gesamten Lebensweges eines Bioenergieträgers zu untersuchen. Dazu bietet sich die Methodik der Ökobilanzierung an. Mit Hilfe einer Ökobilanzierung wird nicht nur betrachtet, wie viele und welche Emissionen während der Verwendung eines Produktes entstehen, sondern auch, welche Emissionen bei seiner Erzeugung und der Herstellung dafür benötigter Materialien und Hilfsstoffe in die Umwelt gelangen. Um also die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die Verwendung von Biomasse anstatt fossiler Energieträger zu quantifizieren, muss die gesamte Bereitstellungskette des Bioenergieträgers analysiert werden. Bittere Wahrheiten kamen durch solche Analysen einiger Biotreibstoffe vor gar nicht all zu langer Zeit an die Öffentlichkeit und erschütterten das bisher so saubere Image der biomassebasierten Energien.

## 2 Methoden

Die Methodik der Ökobilanzierung wird durch die Internationalen Normen ISO 14040 und 14044 geregelt (DIN 2006). Darin werden Rahmenbedingungen für die Ökobilanzierung festgelegt und Anleitung für deren Durchführung gegeben, außerdem werden Vorschriften zur Dokumentation gemacht. Klar festgelegt sind die einzelnen Schritte, die bei der Durchführung einer Ökobilanzierung berücksichtigt werden müssen. Zunächst müssen laut ISO Untersuchungsziel und -rahmen festgelegt werden, danach werden Sach- und Wirkungsbilanz erstellt, worauf eine abschließende Bewertung der Ergebnisse folgt, aus der schließlich Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet werden.

Die Umsetzungen dieser Anforderungen erfolgte im vorliegenden Beitrag mit Hilfe der Bilanzierungssoftware GaBi 4 (LBP; PE 2006). Sie unterstützt die Sammlung der Sachbilanzdaten, die anschließende Wirkungsabschätzung sowie die Bewertung und Normalisierung der Ergebnisse. Außerdem stehen in der integrierten Datenbank Vorketten von Materialien, Hilfsstoffen, Transportvorgängen sowie der Energiebereitstellung zur Verfügung.

### 2.1 Systemgrenzen, funktionale Einheit und Allokationen

In diesem Beitrag werden die Umweltwirkungen der Erzeugung von Pappelhackschnitteln in einer Kurzumtriebsplantage und deren anschließenden energetischen Verwendung bilanziert. Abbildung 1 verdeutlicht die dafür festgelegten Systemgrenzen.

In die vorliegende Ökobilanzierung fließen alle Stoff- und Energieflüsse von der ersten Bodenbearbeitung der Ausgangsfläche bis hin zur Ernte der Bäume ein. Alle Stoff- und Energieflüsse, die im Zusammenhang mit der Erzeugung der Kraftstoffe, Pflanzenschutzmittel, sonstigen Hilfsmitteln sowie des Pflanzgutes stehen, werden ebenfalls bilanziert. Des Weiteren werden alle Aufwendungen und Emissionen im Zusammenhang mit Transportvorgängen sowie der Trocknung und Verstromung der Hackschnittel berücksichtigt. Auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Holz werden vollständig erfasst und erscheinen im Output der Bilanz. Im Input ist jedoch die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die biologische Produktion verzeichnet, die von der emittierten CO<sub>2</sub>-Menge subtrahiert werden muss, um den Netto-CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu ermitteln. Die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einbindung im Modul 'Biologische Produktion' erfolgt mit Hilfe der von WEGENER/ZIMMER (1996) auf die Elementgehalte (Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasser) im Holz angepasste Photosynthesegleichung. Mit Hilfe dieser Gleichung können im Modul 'Biologische Produktion' gleichzeitig auch die Wasseraufnahme sowie die Sauerstoff- und Wasserabgabe bilanziert werden.

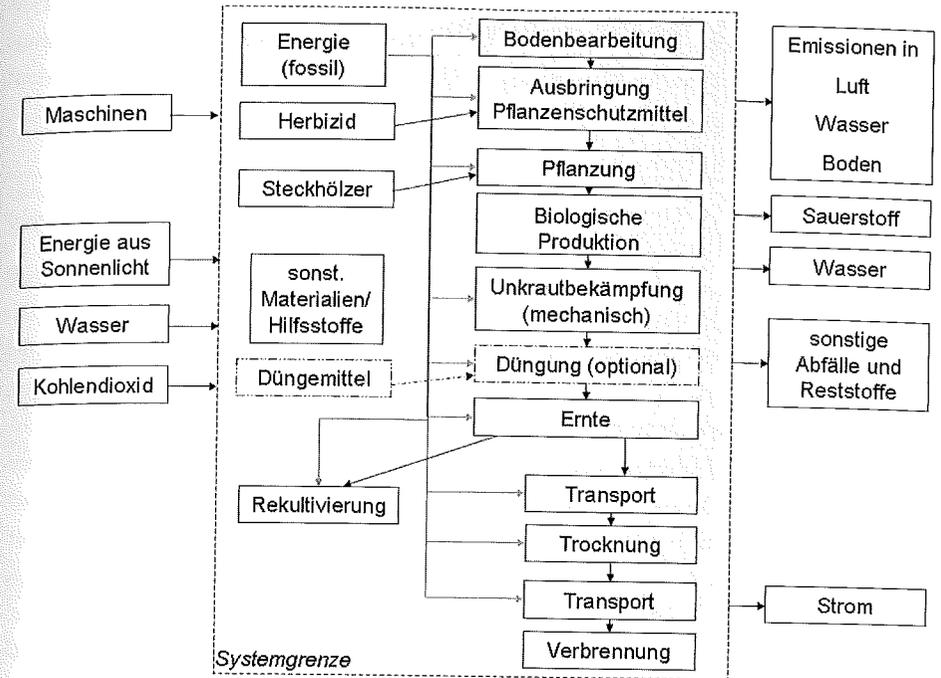


Abb. 1: Berücksichtigte Module und Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung

Als funktionale Einheit, also die Größe, auf die alle Stoff- und Energieflüsse sowie Umweltbelastungen bezogen werden, wird 1 kWh Strom bzw. Wärme festgelegt.

Die Allokation, also die Aufteilung der entstehenden Umweltbelastungen zwischen den beiden Produkten, erfolgt nach dem Exergiegehalt von Strom und Wärme in Bezug auf die Gesamtenergieproduktion im Kraftwerk. Dabei wird die Wertigkeit der beiden Produkte im Verhältnis zu Strom berücksichtigt. Das heißt, Strom wird der Wert 1 zugeordnet, während Wärme entsprechend der Temperatur des gelieferten Heißwassers bewertet wird. Für die Berechnungen wird dabei von einer Wertigkeit des Dampfes von 0,30 im Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk und 0,27 im Biomasse-Heizkraftwerk ausgegangen.

Im Kapitel Wirkungsbilanz werden alle in der Sachbilanz erfassten Emissionen des Lebensweges zu Wirkungskategorien zusammengefasst. Mit Hilfe eines Charakterisierungsfaktors wird danach deren Beitrag zum Wirkungsindikator ermittelt. In der vorliegenden Studie wurden die in der Software hinterlegten Faktoren CLM 2001 des Instituts CLM der Universität Leiden (Niederlande) benutzt (GUINÉE 2002).

Bei einer Ökobilanzierung werden meist zahlreiche Umweltwirkungen erfasst. In diesem Beitrag soll für den gesamten Lebensweg des KUP-Holzes nur das Treibhausgaspotential ermittelt werden. Eine detaillierte Erläuterung des KUP-Modells sowie die vollständige Ökobilanzierung des Anbaus von Bäumen in Kurzumtriebsplantagen ist demnächst in einer gesonderten Veröffentlichung zu finden (RÖDL 2008).

### 2.2 Parameter

Für die Bilanzierung wurden die folgenden Annahmen getroffen. Die Leistungen und der Verbrauch der einzelnen Maschinen und Geräte, die für die Anlage, Pflege und Ernte der KUP benötigt werden, sind dazu in Tabelle 1 zusammengefasst. Es wird davon ausgegangen, dass die Kurzumtriebsplantage nicht gedüngt wird. Außer der Ausbringung eines Herbizids vor der Pflanzung werden keine weiteren Pestizide verwendet. Im ersten Jahr wird eine Überfahrt mit einem Hackgerät zur mechanischen Unkrautbekämpfung berücksichtigt. Die gesamte Standdauer der Plantage beträgt 16 Jahre, wobei die Fläche alle 4 Jahre mit einem selbstfahrenden Feldhäcksler beerntet wird. Der Zuwachs wird mit 10 t Trockenmasse pro ha und Jahr angenommen. Für die geernteten Hackschnitzel wird eine Feuchte (u) von 100% unterstellt. Der Transport der geernteten Hackschnitzel zum Ort der Lagerung und Trocknung erfolgt mit einem Schlepper mit zwei Dreiseitenkippern. Das Material wird mit Hilfe des Doppelbelüftungsverfahrens (BRUMMACK 2007) getrocknet, was keinen zusätzlichen Einsatz von Energie erfordert, da das Verfahren nur mit Hilfe der biologischen Selbsterwärmung funktioniert. Lediglich für die Errichtung der Mieten sowie für die Herstellung der dafür benötigten Materialien, wie z.B. Abdeckplanen und Belüftungsrohre wird Energie verbraucht und es entstehen Emissionen. Die Feuchte (u) nach der Trocknung beträgt 20%. Der Transport vom Lager zum Kraftwerk wird mit Hilfe eines LKWs durchgeführt. Die Stromerzeugung erfolgt wahlweise in einem Biomasseheizkraftwerk (44 MW therm.) mit Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie oder einer Gas- und Dampfturbinenanlage (4,3 MW therm.). Die dabei unterstellten Wirkungsgrade entsprechen dem Carnot-Wirkungsfaktor (FRANKE 2008) für die jeweilige Verbrennungstechnologie und wurden für das Biomasseheizkraftwerk (BHKW) mit 34% und für den Gas- und Dampfprozess (GuD) mit 61% angenommen. Im GuD-Kraftwerk wird der Entnahmebetrieb betrachtet, bei dem neben dem erzeugten Strom auch die anfallende Wärme genutzt wird.

Tab. 1: Leistungs- und Verbrauchsangaben der berücksichtigten Maschinen für Anbau, Ernte und Transport. Quellen: CLAAS (2007); KTBL (2006a); LBP, PE (2006)

Bearbeitungsschritt	Gerät	Nennleistung kW	Dieserverbrauch l/ha	Bemerkungen
Grundbodenbearbeitung	Schlepper mit Aufsatteldrehpflug	120	24,96	
Pflanzbettbereitung	Schlepper mit Saatbettkombination	120	7,03	
Herbizidbehandlung	Schlepper mit Pflanzenschutzspritze	67	1,13	4l/ha RoundUp UltraMax 200l/ha Wasser
Pflanzung	Quickwood-Planter	40	54,6	10667 St./ha; (840 St./h; 4,3l/h)
Pflege	Schlepper mit Hacke	67	3,7	
Ernte	Feldhäcksler mit Holzerntevorsatz Schlepper mit Anhänger	333	56	z.B. Claas Jaguar 870 Dreiseitenkippanhänger 10,5t Nutzlast
		67	8	
Trocknung	Teleskoplader	80	9,3 l/h	
Transport (2x)	Schlepper+ 2 Anhänger	157	18,3 l/h	2 Dreiseitenkipper je 10,5 t Nutzlast
	Sattelzug		0,9712 l/t Transportgut	38 t (26 t Nutzlast)

### 3 Sachbilanz

Im vorliegenden Modell mit den zuvor beschriebenen Annahmen werden mit der Kurzumtriebsplantage insgesamt 160 t/atro Pappelholz erzeugt. Mit Hilfe der zugrunde gelegten Konversionstechnologien könnten daraus 979.850 MJ (BHKW) respektive 1.844.400 MJ (GuD) Energie, also Strom und Wärme, erzeugt werden. Dabei werden die zuvor genannten Wirkungsgrade sowie der untere Heizwert des Holzes bei oben genannter Feuchte berücksichtigt. In der folgenden Tabelle (Tab.2) sind die für die Bereitstellung des Hackgutes nötigen Mengen an Primärenergie dargestellt.

Tab. 2: Primärenergiebedarf für die Bereitstellung der Hackschnitzel frei Werk. Allokation nach Exergieverfahren

	MJ/kWh <sub>el</sub>	MJ/kWh <sub>therm</sub>
BHKW	0,181	0,012
GuD (EB)	0,071	0,032

Dabei entfallen auf die einzelnen Teilarbeiten von der Flächenbegründung bis hin zum Transport ins Kraftwerk die in Abbildung 2 dargestellten Anteile des Primärenergieverbrauchs.

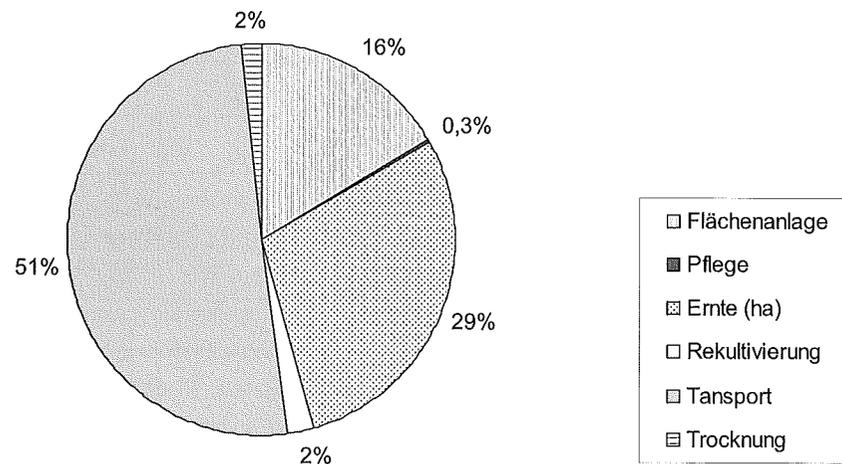


Abb. 2: Verteilung des Primärenergieverbrauchs auf die einzelnen Module.

Die größten Anteile am gesamten Primärenergiebedarf entfallen demnach auf die Ernte der Bäume und den anschließenden Transport der Hackschnitzel.

Da in diesem Beitrag ausschließlich das Treibhausgaspotential des Anbaus und der Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen untersucht werden soll, werden im Folgenden nur die Sachbilanzergebnisse der wichtigsten Treibhausgase vorgestellt.

Tab. 3: Treibhausgasemissionen für die einzelnen Verwendungslinien. Allokation nach E-nergierverfahren

kg/kWh	GuD EB		BHKW	
	Strom (0,69)	Wärme (0,31)	Strom (0,94)	Wärme (0,06)
<b>Input</b>				
Kohlendioxid (aus Luft)	0,396	0,182	1,023	0,065
<b>Output</b>				
Kohlendioxid	0,402	0,184	1,037	0,066
Lachgas (Distickstoffmonoxid)	3,2E-05	1,4E-05	8,6E-06	5,5E-07
Methan	5,6E-06	2,5E-06	2,4E-05	1,5E-06
sonstige organische Emissionen	1,9E-05	8,5E-06	3,9E-05	2,5E-06

Aus Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass die Kohlendioxidemissionen den größten Teil der Treibhausgasemissionen ausmachen. Lachgas und Methan entstehen in viel geringeren Mengen. Im Input des Sachbilanzausschnitts (Tab.3) ist die Kohlendioxidaufnahme aus der Luft während des Wachstums der Plantage aufgeführt. Im Output erscheinen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Lebensweges, inklusive des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei der Verbrennung des Holzes. Die Kohlendioxidemissionen außerhalb des Verbrennungsprozesses entstehen hauptsächlich durch die Nutzung von Maschinen und Fahrzeugen und korrelieren damit eng mit der Primärenergieverwendung. Deshalb entspricht die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Bereitstellung des Holzes im Wesentlichen der des Primärenergieverbrauchs. Betrachtet man den gesamten Lebensweg inklusive der Verwendung übersteigt die CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Verbrennung jedoch die Anteile der Bereitstellungskette bei weitem (Vgl. Abb.3).

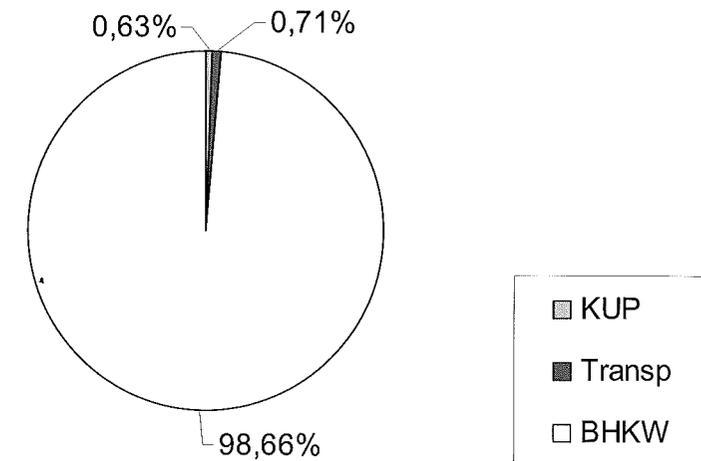


Abb. 3: Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den gesamten Lebensweg.

#### 4 Wirkungsbilanz

Allein aus der Zusammenstellung der erzeugten Emissionen in Tabellen (Sachbilanz) ist nicht zu erkennen, welche Wirkungen diese auf die Umwelt ausüben. In einem weiteren Schritt werden deshalb die Output-Flüsse nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Verstärkung des Treibhauseffekts zusammengefasst. Mit Hilfe von Charakterisierungsfaktoren (GUINÉE 2002) eines jeden Treibhausgases wird danach deren Beitrag zum Treibhausgaspotential ermittelt.

Hier soll, wie schon erwähnt, nur das Treibhausgaspotential untersucht werden. In Tabelle 4 sind die Treibhausgaspotentiale der beiden Konversionstechnologien und die der daraus erzeugten Produkte dargestellt. Für die Aufteilung der Umweltwirkung wurde das Exergieverfahren angewendet. Die im Kraft-Wärme-Prozess erzeugte Wärme weist deshalb weit geringere Umweltwirkungen auf als der Strom.

Tab. 4: Treibhausgaspotential (GWP 100) der beiden Konversionslinien. Allokation nach Exergieverfahren.

	GuD EB	BHKW
kg CO <sub>2</sub> -Äqv./kWh		
Strom	0,015	0,017
Wärme	0,007	0,001

### 5 Schlussfolgerungen

Für sich betrachtet sind die ermittelten Werte für mit Ökobilanzierung weniger Vertraute nicht besonders aussagekräftig. Deshalb sollen im Folgenden Treibhausgaspotentiale herkömmlicher fossiler Varianten der Stromerzeugung mit den oben ermittelten Ergebnissen verglichen werden.

Im Vergleich schneiden sowohl die Gas- und Dampfturbinen-Technologie als auch das Biomasseheizkraftwerk im Hinblick auf Umweltwirkungen und Emissionen pro kWh erzeugten Strom günstig ab. Die beiden Biomassetechnologien unterscheiden sich dabei nur gering. Wobei die GuD-Technologie ein wenig besser abschneidet. Das ist vor allem durch die deutlich höheren Wirkungsgrade dieser modernen Technologie zu begründen (vgl. Abb. 4).

In Abbildung 4 sind außerdem die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und THG-Emissionen (in kg CO<sub>2</sub>-Äqv.) pro kWh<sub>el</sub> verschiedener fossiler Wege der Stromerzeugung dargestellt. Damit wird auch deutlich, wie viele CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verwendung von Holz zur Stromerzeugung anstatt fossiler Energieträger netto vermieden werden können. Dabei ist hinzuzufügen, dass es sich bei den fossilen vergleichswerten um Durchschnitte aller in Deutschland verfügbaren Technologien handelt, während für die hier ermittelten Werte nur zwei spezielle Technologien betrachtet wurden.

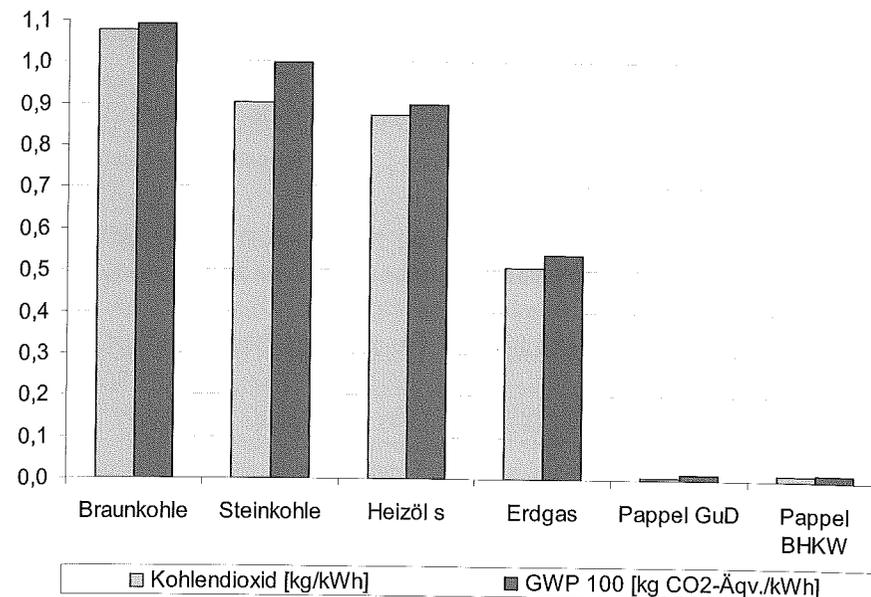


Abb. 4: Vergleich Stromerzeugung aus verschiedenen Energieträgern. Quelle: LBP, PE (2006), eigene Berechnungen

Großen Einfluss auf die Ergebnisse hat die Festlegung der Wirkungsgrade der Biomassekraftwerke. Je höher der Wirkungsgrad, desto niedriger die THG-Emissionen pro kWh. Ebenfalls sehr sensibel reagiert das Gesamtergebnis bei Veränderung der Parameter Umtriebszeit und Standdauer der Kurzumtriebsplantage. Je länger die Abstände der einzelnen Ernten und die gesamte Lebensdauer der Plantage sind, desto geringer werden die Emissionen und Umweltwirkungen bezogen auf die funktionale Einheit (kWh). Wird zusätzlich eine Düngung der Plantage berücksichtigt, steigt das Treibhausgaspotential deutlich an (RÖDL 2008). Bei der Ausbringung von Stickstoffdüngern werden erhebliche Mengen Lachgas freigesetzt, welches das 298fache Treibhausgaspotential von CO<sub>2</sub> besitzt.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die dargestellten Ergebnisse vorläufigen Charakter haben, da das Projekt noch nicht abgeschlossen ist. Im weiteren Verlauf werden die Daten nochmals einer Prüfung unterzogen und weiter angepasst.

## 6 Literatur

- BUNDESREGIERUNG (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Berlin, 24. August 2007. <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/39875.php>
- CLAAS (2007): Mündliche Mitteilung. Mitarbeiter CLAAS Deutschland, Maschinenvorführung in Cahnsdorf. 13.02.2007.
- DIN (2006): Umweltmanagement-Ökobilanzierung ISO 14040:2006 Grundsätze und Rahmenbedingungen und ISO 14044:2006 Anforderungen und Anleitungen. Berlin: Deutsches Institut für Normung, Oktober 2006.
- EC (2007): Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21<sup>st</sup> century: building a more sustainable future. Communication from the Commission (EC) to the council and the European Parliament. COM(2006) 848 final, Brussels: 10.1.2007
- EC (2008): 20 und 20 bis 2020. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. KOM(2008) 30 endgültig, Brüssel, 23.1.2008.
- FRANKE, B. (2008): Mitteilung per Fax 23.1.2008
- GUINÉE, Jeroen B. (Ed.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- KTBL (2006): Betriebsplanung in der Landwirtschaft 2006/07: Datensammlung. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 20. Auflage, 672 S.
- LBP, PE (2006): GaBi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Copyright, TM. Stuttgart: Chair of Building Physics University of Stuttgart, Leinfelden-Echterdingen: PE International GmbH.
- POLSTER, Andreas; MOLLEKOPF, N.; BRUMMACK, Joachim (2004): Fremdenergiefreie Biomassetrocknung mit dem Dombelüftungsverfahren. Chemie Ingenieur Technik 76, No. 9, S. 1287
- RÖDL, Anne (2008): Ökobilanzierung der Holzherzeugung im Kurzumtrieb. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft des VTI, Hamburg. (im Druck)
- ZIMMER, Bernhard; WEGENER, Gerd (1996): Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff. Jhg. (54), Nr. 4, S. 217-223.