

Daniela Thrän^{1,2} und Nora Szarka²

Die Rolle der Bioenergie in einer zukünftigen Energieversorgung

Vor dem Hintergrund der begrenzten und mit negativen Umwelt- und Klimagaseffekten versehenen fossilen Energieressourcen wurden internationale bzw. nationale Ziele bezüglich des Ausbaus von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien formuliert. Zur Erreichung dieser ambitionierten Ziele und Sicherstellung des wachsenden Energiebedarfs, vor allem unter wirtschaftlichen und umweltschonenden Gesichtspunkten, ist ein forciertes Wachstum einer nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Energien notwendig.

Aktuell liegt der Anteil der Bioenergie weltweit bei 77 %. Von den EU27-Ländern wird im Jahr 2020 ein Beitrag von 60 % erwartet. Grundlage der Bioenergienutzung ist eine Vielzahl von Ressourcen und Umwandlungsverfahren, kontinuierlichen technologischen bzw. Verfahrensinnovationen (z.B. ORC, thermo-chemische Vergasung, Brennstoffzellen) bzw. vielfältigen Einsatzmöglichkeiten – für die Erzeugung von Strom, Wärme, Kälte und als Kraftstoff. Die verfügbaren Potenziale sind jedoch nicht ausreichend, um alle Nutzenergiearten auf der Basis von Biomasse bereitzustellen. Bioenergie kann zur Regionalentwicklung beitragen, ist gut kombinierbar mit anderen erneuerbaren Energien und bietet neue Möglichkeiten für den Export und Technologietransfer. Bioenergie hat jedoch auch räumliche, zeitliche und technische Begrenzungen und ihr unbedachter Einsatz kann mit verschiedenen Umweltrisiken einhergehen (Biodiversität, Landnutzungsänderungen, Nahrungsmittelpreisänderung etc.).

Anliegen dieses Beitrages ist es, die verschiedenen Ziele der Bioenergienutzung darzustellen, die verfügbaren Biomassepotenziale und Konversionstechnologien zu analysieren und die Rolle der Bioenergie in einer künftigen Energieversorgung zu identifizieren.

1. Problemsituation

Das gegenwärtige Brennstoffpotenzial aus Biomasse in Deutschland liegt zwischen 980 und 1.274 PJ/a, je nach Abschätzung des Energiepflanzenpotenzials. Der Brennstoffeinsatz im Jahr 2009 betrug 830 PJ, wovon 18 % (~153 PJ) importiert wurden. Tabelle 1 zeigt, dass demgegenüber im Jahr 2020 eine Erhöhung von 64 %, insgesamt bis zu 1.360 PJ, erwartet wird. Diese Nachfrage zu decken und das gegebene Potenzial weitgehend auszunutzen, erfordert die kritische Analyse der weltweiten Potenzialsituation, die Erhöhung der Nutzungseffizienz, eine Auswahl richtigen Standorte und entsprechende Nutzung der Biomasse.

1 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), Leipzig

2 Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ), Leipzig

Inländisches Brennstoffpotenzial in 2009 [PJ/a]		Brennstoffeinsatz in 2009 [PJ/a]		Brennstoffeinsatz in 2020 [PJ/a] (Erwartung)	
Wald(rest)holz	424	Wärme	359	Wärme	442
Industrierestholz	58	H(KW)	202	Strom	520
Altholz	78	Biogas	124	Kraftstoff	398
Substrate	129	Pflanzenöl	22		
Stroh	190	Biokraftstoffe	123		
Energiepflanzen - min	102	Davon Inland:	677		
Energiepflanzen - max	397	Import:	153		
<i>Total min</i>	<i>980</i>	<i>Total</i>	<i>830</i>	<i>Total</i>	<i>1.360</i>
<i>Total max</i>	<i>1.274</i>				

Tab.1: Brennstoffpotenzial und Einsatz in Deutschland (DBFZ, 2011; Thrän, 2011; BMU, 2010)

Die Gegenüberstellung der Brennstoffpotenziale im Jahr 2009 und der Einsatz in den Jahren 2009 und 2020 je nach Brennstoffarten und Anwendung ist in Abbildung 1 zusammengestellt. Das Potenzial von Energiepflanzen zeigt eine breite Skale, je nach Studien. Es ist auch sichtbar, dass nur die Hälfte der zur Verfügung stehenden Biomasse ausgenutzt wurde und dafür auch Importe benötigt wurden. Im Jahr 2020 wird ein Brennstoffeinsatz zwischen 1350-1500 PJ für Wärme, Strom und Kraftstoff erwartet (Basis NREAP).

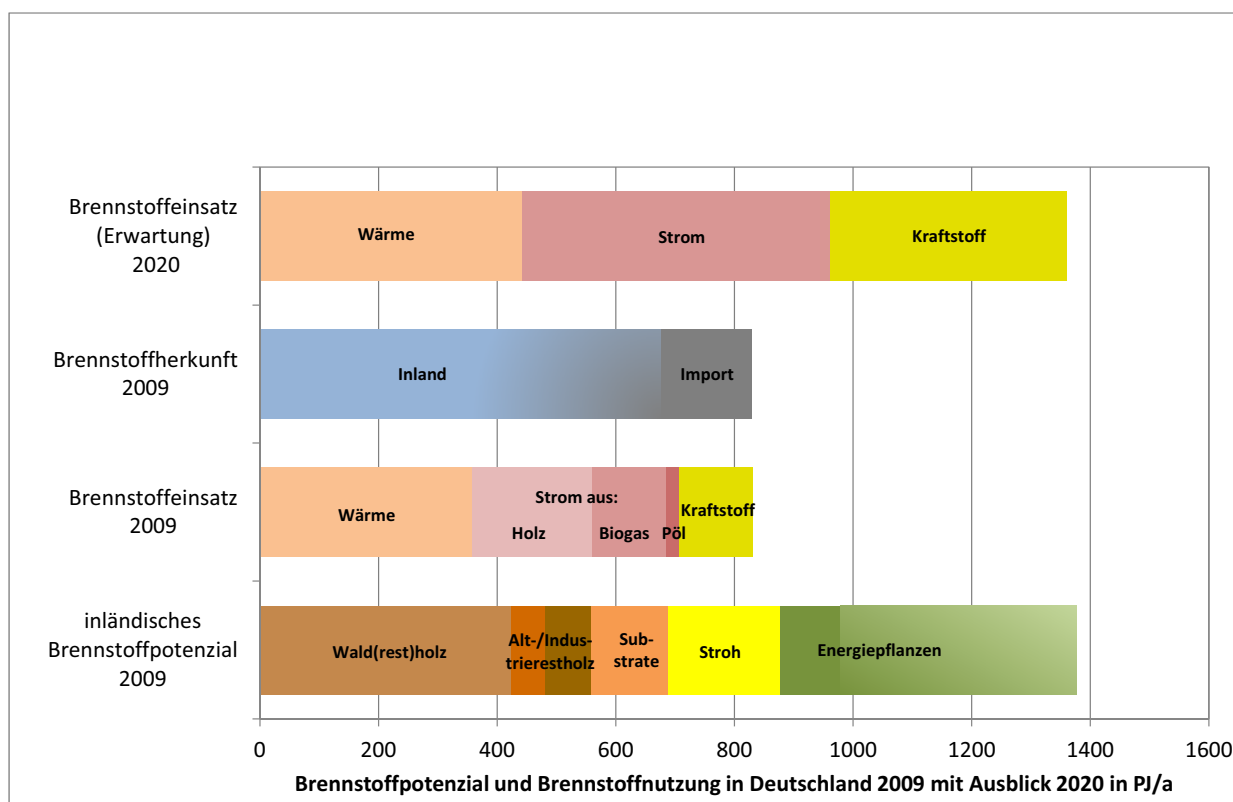


Abb.1: Brennstoffpotenzial und Nutzung in Deutschland 2009 und 2020 (DBFZ, 2011; Thrän, 2011; BMU, 2010)

Das Energiesystem und der Biomassektor zeigen eine hohe Komplexität auf, die von verschiedenen Faktoren geprägt ist, z.B. einer Vielzahl von Ressourcen und Umwandlungsverfahren, einer kontinuierlichen Entwicklungen von Technologien, Änderungen politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen sowie vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Biomasse als Nutzenergie. Die Darstellung und Analyse gegenwärtiger Biomassepotenziale und Umwandlungsmöglichkeiten können als Grundlage dienen, um Chancen zu nutzen, die Biomasse heute und zukünftig bietet, aber auch die Risiken und die Nachteile zu minimieren sowie optimale Ansätze für die energetische Biomassenutzung zu finden.

2. Ziele der Bioenergienutzung

Im Kontext der erneuerbaren Energien kommt Bioenergie aufgrund ihrer vielseitigen Einsetzbarkeit, Speicherbarkeit, Grund- und Spitzenlastfähigkeit eine besondere Bedeutung zu. Bioenergie wird somit zu einem wichtigen Baustein, um die Transformation zu einem klimaneutralen Energiesystem zu realisieren. Außerdem leistet Bioenergie einen wichtigen Beitrag zum strategischen Ziel Klimaschutz, da fossile Brennstoffe ersetzt und CO₂ Emissionen vermieden werden. Durch die Bioenergienutzung steigt die Energieversorgungssicherheit. Gleichzeitig wird die Landnutzung verbessert, wenn Stilllegungsflächen genutzt wurden. Es erfolgt zudem eine Förderung strukturschwacher, ländlicher Regionen durch die Erschließung neuer Einkommensquelle und Sicherung von Arbeitsplätzen.

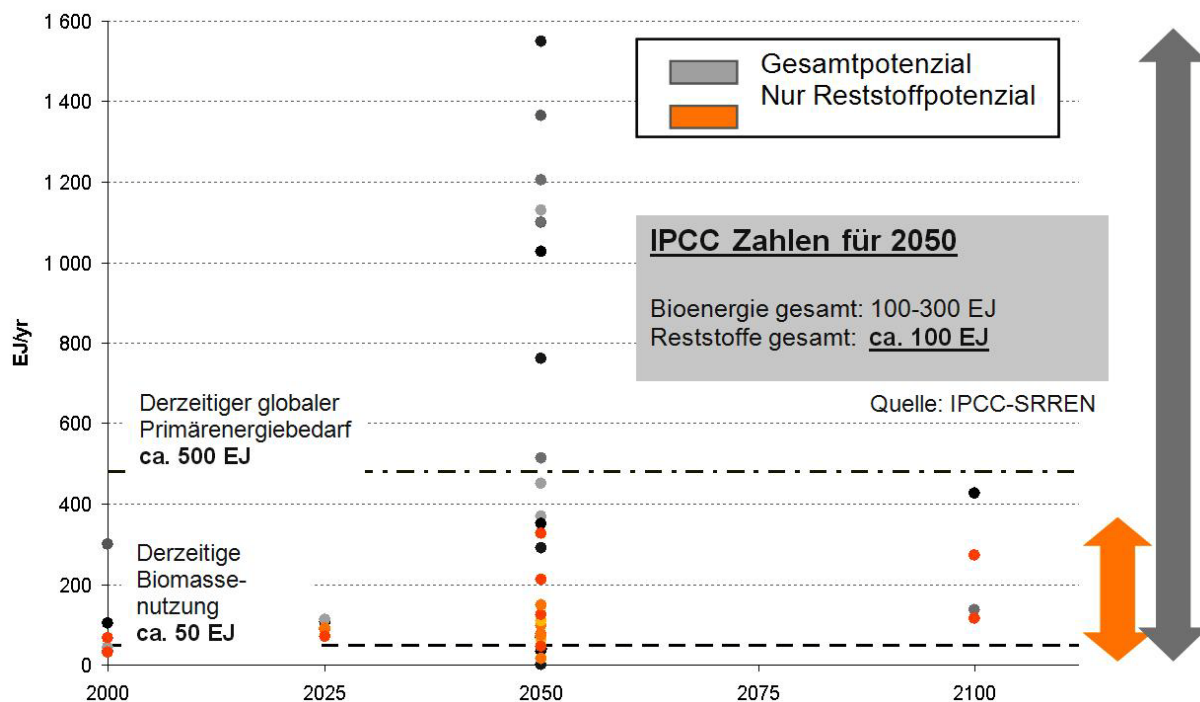
Bioenergie steht zeit- und wetterunabhängig zur Verfügung und kann flexibel, bedarfsgerecht bereitgestellt werden. Dadurch wird ein Ausgleich von Angebotsschwankungen und Nachfragespitzen (von fluktuierender Solar- und Windkraft) ermöglicht und kann zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Strombereich beitragen. Während Bioenergie im Wärmesektor oftmals bereits mit konventionellen Energieträgern konkurrieren kann, ist ein Einsatz im Verkehrssektor aufgrund der Kompatibilität von Biokraftstoffen mit bestehenden Vertriebs- und Nachfragestrukturen sehr attraktiv (IEA Bioenergy, 2009). Die technischen Umwandlungsmöglichkeiten von Bioenergie sind vielfältig – thermo-chemische, biochemische und physikalisch-chemische Umwandlung – und mit der kontinuierlichen Entwicklung innovativer Prozesse und Produkte, stärkt die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Für die Bereitstellung von Energie aus Biomasse stehen eine Brandbreite verschiedene Rohstoffe zur Verfügung sowie Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, als auch verschiedene Energiepflanzen.

Der Ausbau der Bioenergienutzung ist jedoch nicht nur mit Chancen, sondern auch mit nachhaltigen Risiken verbunden. Durch die Schaffung einer zusätzlichen, rasch wachsenden Nachfrage nach Land und Biomasse werden bestehende, ökologische und sozio-ökonomische Probleme der Landwirtschaft verschärft, während die Umwandlung natürlicher Ökosysteme in Ackerland attraktiver wird (SRU, 2007). Bioenergie konkurriert mit stofflichen Biomassenutzungen um verfügbare Anbauflächen, aber auch mit verschiedenen energetischen Nutzungspfaden (Thrän, 2011). Die künftige Nutzung von Biomasse darf nicht der Natur und menschlichen Sicherheit entgegenstehen, beispielsweise der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität oder Lebensmittelversorgung. Ziel der Bioenergienutzung ist deshalb die optimale Nutzung der bestehenden Chancen und Vermeidung von Risiken und negativen Effekten durch entsprechende Biomassebereitstellung, Umwandlung und Nutzung, unter Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten.

3. Globale Biomassepotenziale

Bioenergie ist nicht nur in Deutschland, sondern auch europaweit und global der bedeutendste erneuerbare Energieträger und soll aus Gründen der Versorgungssicherheit und des Klimaschutzes in vielen Ländern der Welt weiter ausgebaut werden.

Die stoffliche und energetische Biomassenutzung steht in Konkurrenz mit der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, Naturschutzziele und zahlreichen anderen Ansprüchen der Gesellschaft. Da die agrarischen und forstlichen Rohstoffe zum überwiegenden Teil transportwürdig, lagerfähig und zunehmend auf globalen Märkten handelbar sind, steht eine inländische Verwendung dieser Biomassen stets im Wettbewerb mit dem Export oder Import dieser Ware. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der Verwendung landwirtschaftlicher Biomassen für die Welternährungssicherung grundsätzlich Vorrang gegenüber anderen Verwendungen sowohl auf den Märkten als auch in der Politikgestaltung eingeräumt wird. Schließlich entwickelt sich zumindest bis zur Mitte dieses Jahrhunderts die Weltbevölkerung und damit die weltweite Nahrungsmittelnachfrage sehr expansiv, während sich schon seit einigen Jahren dämpfende Effekte (Klimawandel, Bodendegradation u.a.) auf die Angebotspotenziale von landwirtschaftlichen Biomassen auswirken. Die globalen Biomassepotenziale wurden in einer Vielzahl von Studien abgeschätzt und führen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen (Abbildung 2).



Quellen: Barker, et al., 2007; Bauen, Woods, & Hailes, 2004; Campbell, Lobell, Genova, & Field, 2008; Dessus, Devin, & Pharabod, 1993; Faaij, 2007; Fischer & Schrattonholzer, 2001; Hall, Rosillo-Calle, Williams, & Woods, 1993; Hoogwijk, et al., 2005; Hoogwijk, et al., 2003; International Energy Agency, 2007b; Johansson, McCormick, Neij, & Turkenburg, 2004; Kaltschmitt & Hartmann, 2001; Moreira, 2006; Sims, et al., 2007; Smeets & Faaij, 2007; Smeets, et al., 2007; Swisher & Wilson, 1993; Wolf, Bindraban, Luijten, & Vleeshouwers, 2003; Yamamoto, Fujino, & Yamaji, 2001; Yamamoto, Yamaji, & Fujino, 1999

Abb.2: Vergleich von Bioenergiepotenzialen auf Basis von Potenzialstudien (basierend auf Offermann et al., 2010 und Chum et al., 2011)

Besonders Energiepflanzenpotenziale zeigen eine sehr breite Streuung. Bedingt ist diese in unterschiedlichen Annahmen zu Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft generell und zur Nutzbar-

machung von degradierten Flächen. Die wichtigsten Aspekte, die der Produktion auf degradierten Flächen entgegenstehen bzw. Mehrkosten verursachen, sind Unsicherheiten für Investitionen (Flächenumfang und -qualität, Förderungsdauer, Sicherheiten), hohe Anfangsinvestitionen im Verhältnis zu den erzielbaren Erlösen, später Geldfluss bei Anbau mit mehrjährigen Kulturen, in der Regel sehr geringes Ertragsniveau, geringere Nährstoffeffizienz, regional geringe Flächen und Rohstoffmengen, geringe Mobilisierung, höhere Produktionskosten (Standortvorbereitung, Bewässerung, geringe Erträge), institutionelle Hemmnisse, Flächennutzungskonkurrenzen und fehlende Infrastruktur (Ölmühlen, Konversionsanlagen, Straßen).

Vereinfachte Berechnungen, die die bereits kultivierten Flächen berücksichtigen und dort landwirtschaftliche Trends fortschreiben (z.B. IPCC, DBFZ), kommen eher zu einem moderaten Biomassepotenzial in der Größenordnung von 100 bis 300 EJ/a. Für die Technologien bedeutet dies, dass eine hohe Nutzungseffizienz der begrenzten Biomasse künftig einen höheren Stellenwert erhalten muss.

4. Bereitstellung von Bioenergieträgern

Die Bioenergiebereitstellung erfolgt durch eine mehrstufige Bereitstellungskette, die mit der Produktion der Energiepflanzen bzw. der Verfügbarmachung von Rückständen, Nebenprodukten oder Abfällen beginnt und über verschiedene Aufbereitungs-, Lagerungs- und Transportschritte sowie ggf. weitere technische Umwandlungsprozesse zur Bereitstellung eines Sekundärenergieträgers führt, durch dessen Verbrennung dann die letztlich gewollte End- bzw. Nutzenergie bereitgestellt werden kann (Abbildung 3).

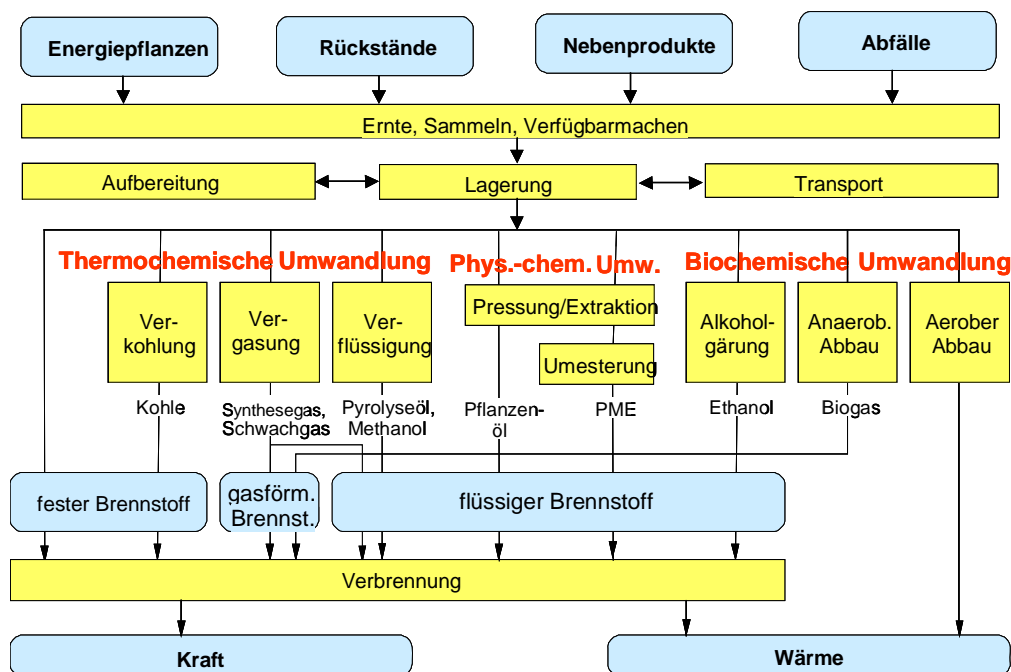


Abb. 3: Übersicht über die Nutzungspfade (Kaltschmitt, 2008)

Die Umwandlung der Biomasse in feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger mit definierten verbrennungstechnischen Eigenschaften ist – außer durch mechanische Prozesse z.B. zur

Herstellung biogener Festbrennstoffe mit definierten Eigenschaften wie u.a. Stückholz oder Pellets – wie folgt möglich.

- **Thermo-chemische Verfahren:** Die Biomasse (hauptsächlich biogene Festbrennstoffe) wird bei hohen Temperaturen thermisch zerstört. Zu diesem Zweck werden die festen Biobrennstoffe unter definierten Bedingungen (Druck, Temperatur etc.) mit einem Vergasungsmittel (z.B. Luft, Wasser) versetzt und dadurch in Sekundärenergieträger wie Holzkohle, Pyrolyseöl oder Produktgas umgewandelt. Die Ausbeute des gewünschten Endproduktes kann durch eine geeignete Prozesssteuerung maximiert werden. Während Holzkohle und Pyrolyseöl bisher aus energetischer Sicht nur eine begrenzte Anwendung gefunden haben (z.B. Holzkohle im Freizeitbereich), sind die Einsatzmöglichkeiten für ein brennbares Produktgas vielfältiger.
- **Physikalisch-chemische Umwandlung:** Sie wird eingesetzt, um aus ölhaltigen Biomassen (z.B. Rapssaat) flüssige Bioenergieträger herzustellen. Dazu wird das Öl durch ein mechanisches Pressen und/oder eine Extraktion aus der Saat abgetrennt. Das Pflanzenöl ist sowohl in Reinform als auch nach einer Umwandlung (Umesterung) zu Pflanzenölmethylester (Biodiesel) energetisch nutzbar.
- **Bio-chemische Umwandlung:** Der Umwandlung der Biomasse erfolgt hierbei durch den Einsatz von Mikroorganismen und damit auf der Basis biologischer Prozesse.

(1) Bei der **alkoholischen Gärung** wird zucker-, stärke- und cellulosehaltige Biomasse (Getreide, Zuckerrüben, künftig ggf. auch Stroh) in Ethanol überführt, der als Reinalkohol oder als Zumischkomponente zu Otto- oder Dieselkraftstoff eingesetzt werden kann. Erste Anlagen zur Herstellung von Bioethanol als Energieträger sind in Deutschland 2005 in Betrieb gegangen.

(2) Bei der **anaeroben Vergärung** wird organisches Material von Mikroorganismen zu Biogas (ca. 60 % Methan und rund 40 % Kohlenstoffdioxid) umgewandelt. Dieses Gas kann in Blockheizkraftwerken (BHKW's) zur Strom- und Wärmeerzeugung und – nach einer Aufbereitung – auch in Gas-betriebenen Kraftfahrzeugen eingesetzt werden. Anlagen zur Herstellung und Verstromung des Biogases sind mit elektrischen Leistungen zwischen einigen 10 kW und dem unteren Megawatt-Bereich Stand der Technik (Abbildung 3). Verarbeitet werden organische Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (vornehmlich Gülle) und jüngst auch Energiepflanzen (z.B. Maissilage).

(3) Beim **aeroben Biomasseabbau** (Kompostierung) wird Wärme freigesetzt, die grundsätzlich nutzbar gemacht werden kann. Diese Option ist aber aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen bisher nicht relevant.

Je nach Nutzungspfad sind auch die Anforderungen an die Biomasse zu unterscheiden (Abbildung 4). Während für Verbrennungs- und Vergasungsprozesse ein möglichst hoher Kohlenstoffgehalt gefordert wird, ist für bio-chemische Prozesse ein geeignetes Verhältnis an Nährstoffen wie auch eine hohe Phytohygiene vorteilhaft. Zur Bereitstellung von Pflanzenölen gelten schließlich mit der Herstellung von Speiseölen vergleichbare Anforderungen.

Gehalt an...	Verbrennung	Vergasung	Vergärung	Bioethanol	Biodiesel
Kohlenstoff	Hoch	Hoch	C:N:P:S von 500:15:5:3		
Schwefel	Gering	Sehr gering		*	
Stickstoff	Gering	Gering		Gering	
Spurenelementen	Gering	Sehr gering	Essentielle	*	
Zucker, Stärke			Ausgewo- genes Verhältnis	Hoch	
Fett					Hoch
Protein				Gering	
Lignin			Gering	Gering	Gering
Inertmaterial	Gering	Sehr gering	Gering	Gering	Gering
Mikroorganismen			Phyto- Hygiene		

* Informationen nicht verfügbar



Abb. 4: Konversionsspezifische Anforderungen an die Biomasse

Bei der Abschätzung des Innovationspotenzials ist die gesamte Kette von der Rohstoffbereitstellung über Ernte- und Bereitstellungsverfahren, Logistikkonzepten bis hin zu Problemen bei der Anwendung der erzeugten Rohstoffe relevant.

5. Anwendungsfelder – Stand und Forschungsbedarf

Die bereitgestellten Bioenergieträger können unterschiedlich eingesetzt werden. Grundsätzlich ist dabei zwischen festen, gasförmigen und flüssigen Brennstoffen zu unterscheiden. Sowohl im gegenwärtigen Nutzungsstand als auch im Forschungsbedarf sind hier deutliche Unterschiede zu verzeichnen.

Biogene Festbrennstoffe: Feste Bioenergieträger (z.B. Stückholz, Hackschnitzel und Pellets als die „klassischen“ Holzbrennstoffe, die bisher den Markt dominieren) können in Anlagen unterschiedlichster Leistungen zur Wärme- und/oder Strombereitstellung eingesetzt werden:

- Die Wärmebereitstellung aus Scheitholz und Holzhackschnitzeln ist in allen am Markt nachgefragten thermischen Leistungen (d.h. von wenigen kW bis in den MW-Bereich) seit Jahrzehnten im Einsatz; dabei wird der Markt im unteren Leistungsbereich traditionell von Stückholzfeuerungen dominiert. In den letzten Jahren hat zusätzlich der Einsatz von Holzpellets insbesondere in Hausheizungsanlagen sowohl im Bereich der Zimmeröfen als auch bei den Zentralheizungsanlagen an Bedeutung gewonnen. Dieser in Größe und Qualität klar definierte Brennstoff gestattet mit moderner Anlagentechnik auch bei kleinsten thermischen Leistungen einen vollautomatischen Betrieb. Auch stellt Holz u.a. aufgrund seiner geringen Spurenelement- und Aschegehalte den aus verbrennungstechnischer Sicht vielversprechendsten festen Bioenergieträger dar. Die Verbrennung von Stroh und anderen Halmgütern hingegen ist durch die höheren Spurenelementgehalte (z.B. Stickstoff, Chlor, Kalium) technisch schwieriger und mit höheren Emissionen verbunden; sie wird daher bisher kaum realisiert.

- Die Stromerzeugung in (Heiz-)Kraftwerken erfolgt mithilfe konventioneller Dampfprozesse und damit gängiger Kraftwerkstechnik. Diese Art der Stromerzeugung ist mit elektrischen Leistungen ab rund 2MW am Markt etabliert. Demgegenüber befindet sich die Stromerzeugung mit geringeren elektrischen Leistungen bei einem hohen Stromwirkungsgrad z.T. noch im Entwicklungsstadium, durch die weitere Anwendungsfelder z.B. durch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen u.a. in öffentlichen Einrichtungen (z.B. Schwimmbäder, Schulen), kleinen Nahwärmenetzen (z.B. für Neubausiedlungen) und in größeren landwirtschaftlichen Betrieben erschlossen werden könnten.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich

- der Bereitstellung von biogenen Festbrennstoffen mit hohem Energiegehalt und großer Lagerstabilität, die über weite Strecken effizient transportiert werden können. Hier wird gegenwärtig in der Torrefizierung von Holz oder anderen biogenen Festbrennstoffen ein großes Potenzial gesehen;
- der generell geringen elektrischen Wirkungsgrade und der hohen Investitionskosten insbesondere bei der dezentralen KWK;
- der Regelung von (Heiz-)Kraftprozessen in Hinblick auf eine zunehmend bedarfsgerechte Bereitstellung zum Ausgleich anderer fluktuierender erneuerbarer Energien (Sonne, Wind);
- der Nutzung von Halmgut und anderen Brennstoffen, sowohl zur Wärme- als auch zur Stromerzeugung (verbrennungstechnische Probleme durch Ascheerweichung, Emissionen etc.);
- der Reduzierung der Feinstaubemissionen aus häuslichen Biomassefeuerungen.

Gasförmige Bioenergieträger: Brennbares Gas biogenen Ursprungs (d.h. Biogas oder Produktgas) können sehr vielfältig im Energiesystem eingesetzt werden:

- in Brennern zur Wärmebereitstellung,
- in Gasmotoren oder -turbinen sowie ggf. Brennstoffzellen zur Strom- und ggf. Wärmeerzeugung sowie
- in Kfz-Motoren und damit im Verkehrssektor.

Die technische Reife der einsetzbaren Verfahren unterscheidet sich jedoch für die unterschiedlichen Brenngase; während die Stromerzeugung aus Biogas – erzeugt durch biologische Abbauprozesse – gegenwärtig in 6.000 Anlagen deutschlandweit umgesetzt ist, ist die Stromerzeugung aus Produktgas – erzeugt durch eine thermo-chemische Vergasung fester Biomasse – bisher nur in Pilot- und Demonstrationsanlagen realisiert worden. Die laufenden Forschungsarbeiten zeigen aber, dass die Technik zumindest im größeren Leistungsbereich beherrschbar ist. Von Vorteil sind hier insbesondere hohe erreichbare Stromwirkungsgrade. Nachteilig sind die aufwändige Technik und die damit hohen Kosten.

Alternativ zu der Umwandlung des produzierten Brenngases in elektrische Energie kann das produzierte Gas auch zu einem anderen Sekundärenergieträger veredelt werden. Hier ist z.B. eine Umwandlung zu Methan (Substitute Natural Gas (SNG)) möglich, das dann wie Erdgas nutzbar ist. Eine erste Pilotanlage ist in Österreich im Betrieb, weitere sind gegenwärtig in der Planung. Schließlich kann auch die Umwandlung in einen flüssigen Bioenergieträger (z.B. Fischer-Tropsch-Diesel) erfolgen.

Forschungsbedarf besteht sowohl bei der Biogasnutzung als auch bei Erzeugung und Nutzung thermochemischer Synthesegase (Tabelle 2). Während bei der thermochemischen Gasgewinnung noch die Machbarkeit des Prozesses mit großem Maßstab im Zentrum der Forschung steht, sind im Bereich der bio-chemischen Gaserzeugung zunehmend Prozessoptimierung und Kostenreduktion von Interesse. Die Weiterentwicklung der Gasaufbereitung und Einspeisung von Biomethan ist die Voraussetzung für die mobile Anwendung biogener Gase. Auch hier wurde in jüngster Vergangenheit mit nunmehr 56 Anlagen die Markteinführung begonnen.

Biogas (aus bio-chemischer Konversion)	Produktgas (aus thermo-chemischer Konversion)
Substratoptimierung und Logistik	Optimierung des Vergasungsprozess (und des Vergasers), u.a. zur Reduktion unerwünschter Gasbegleitstoffe und (Weiter-)Entwicklung innovativer Gasreinigungsverfahren
Optimierte Steuerung und Regelung des Vergärungsprozess zur Steigerung der Gasausbeute in Praxisanlagen	Anpassung vorhandener Konversionsanlagen (z.B. Motoren, Turbinen, Brennstoffzellen) an kostengünstig erreichbare Gasqualitäten
Vereinfachung der Biogasreinigung (z.B. H ₂ S-Entzug)	Weiterverarbeitung des Synthesegases zu synthetisches Kraftstoffen (BtL) oder Methan (SNG)
Entwicklung von innovativen Konzepten zur Wärmenutzung (z.B. Kälte aus Wärme, Wärmespeicherung, angepasste Standortplanung, Aufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz)	Verbesserte Integration der versch. Systemelemente zu funktionierenden Gesamtsystem mit dem Ziel hinreichender Wirkungsgrade und Kostenreduktion
Kostenreduzierung für die verschiedenen Prozessstufen (Substratbereitstellung und -Zuführung, Fermentation etc.)	
Mobile Anwendung	
Bedarfsgerechte Erzeugung mit lokaler oder dezentraler Gasspeicherung, bedarfsgesteuerte Prozessregelung (Substratauswahl, Anforderungen an Anlagentechnik, Wärmenutzungskonzept), Identifikation von Hemmnisse lastflexibler Energiebereitstellung.	

Tab.2: Forschungsbedarf bei gasförmigen Bioenergieträgern (Thrän, 2008; erweitert)

Flüssige Bioenergieträger: Flüssigenergieträger biogenen Ursprungs werden bevorzugt in Kfz-Motoren oder in stationären (Klein-)Anwendungen (z.B. BHKW) eingesetzt. Folgende Energieträger sind aus gegenwärtiger Sicht von Bedeutung.

- *Pflanzenöl* kann als Brenn- und Kraftstoff genutzt werden. Infolge der für Naturprodukte typischen schwankenden Eigenschaften, der nur eingeschränkt vorhandenen Pflanzenöl-tauglichen Motoren und der hohen Kosten wird es derzeit aber nur begrenzt in Motoren-BHKW's zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt.
- *Rapsmethylester (Biodiesel)* wird durch Umesterung aus Pflanzenöl gewonnen und entspricht dann weitgehend konventionellem Dieselmotorenkraftstoff. Es wird daher vorzugsweise als Dieseleratz (Biodiesel) bzw. Zusatz (d.h. als Zumischkomponente in konventionellem Diesel) mit

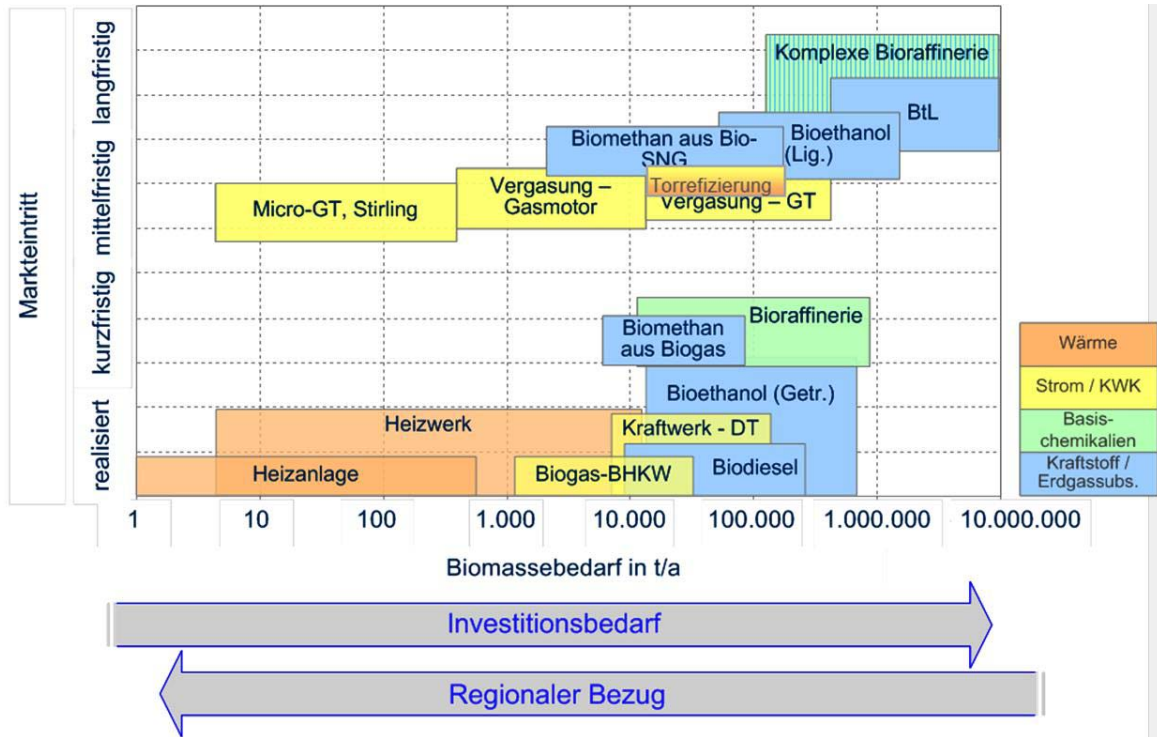
deutlich steigender Tendenz genutzt (z.B. wurden 2006 mehr als 2 Mio. t Biodiesel in Deutschland verkauft; dies entspricht einen Anteil von etwa 3 % am gesamten deutschen Kraftstoffverbrauch). Alternativ kann es auch in BHKW's eingesetzt werden.

- *Bioethanol* kann sowohl als Zumischkomponente zu fossilen Kraftstoffen (d.h. Otto- und Dieselmotoren) als auch als Reinkraftstoff in Kfz-Motoren eingesetzt werden; beide Varianten werden beispielsweise in den USA und in Brasilien seit längerem realisiert. Alternativ kann Ethanol zu ETBE (Ethyltertiärbutylether) umgewandelt und als Additiv fossilem Benzin zugesetzt werden; dies ist z.B. in Deutschland Stand der Technik.
- *Synthetisierte Kraftstoffe* (z.B. Methanol, Fischer-Tropsch-Diesel, DME) können gezielt im Hinblick auf definierte verbrennungstechnische Eigenschaften aus einem aus der thermo-chemischen Vergasung gewonnenen und aufbereiteten Produktgas „designed“ werden. Damit können sie im Hinblick auf einen Einsatz in beliebigen Einsatzbereichen (z.B. Ottomotoren, Mikrogasturbinen, Kraftstoffadditive etc.) hin optimiert werden. Die Entwicklung dieser Technologien steht aber insgesamt noch am Anfang. Marktrelevanz für diese Kraftstoffe ist erst nach 2020 zu erwarten.
- *Hydrierte Pflanzenöle* (Hydrogenerated Vegetable Oil; HVO) könnten eine kurzfristige Alternative zum Kerosin darstellen und können insbesondere zum Dieselmotoren zugemischt werden.
- *Algen* zeigen ein hohes theoretisches Potenzial für Energieerzeugung, insbesondere im Kraftstoffbereich; es werden aber derzeit keine Biokraftstoffe aus Algen kommerziell produziert, jedoch wird Grundlagenforschung betrieben, insbesondere im Bereich der effizienten Massenproduktion.

Bei allen flüssigen Bioenergieträgern besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Standzeiterhöhung, Reduktion der Abgasemissionen, Langzeittests mit verschiedenen Rohstoffen (Palmöl, Altfett etc.) in Motoren und Brennern. Weiterhin sind für synthetische Kraftstoffe Grundlagenfragen der Reinigung des Synthesegases (hohe Reinheit erforderlich), der Aufbereitung der Syntheserohprodukte und der infrastrukturellen Einbindung (Brennstofflogistik, Hilfsstoffe, Verwertung der Nebenprodukte) zu klären.

Zusammengefasst kann Bioenergie mit verschiedenen Einsatzstoffen und Konversions- sowie Nutzungstechnologien realisiert werden; diese Technologien zeigen jeweils typische Leistungsbe-reiche, Wirkungsgrade und technische Reifegrade. Die Weiterentwicklung der Anwendungsvielfalt erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt als sinnvoll. Nur ausgewählte Konzepte für biogene Festbrennstoffe, Biogas und Pflanzenöl/Biodiesel sind bisher marktverfügbar (Abbildung 5). Konzepte auf der Basis von biogenen Gasen (aus Vergasung oder Vergärung) sind sehr vielfältig einsetzbar, bedürfen jedoch einer geeigneten Gasreinigung und -aufbereitung. Bedarfsgerechte Energieerzeugung auf Basis Biomasse zeigt ein weiteres Potenzial.

In Deutschland weisen die Bundesregierung und verschiedene Studien ein mögliches Ziel von 85-100 % der Stromerzeugung aus erneuerbare Quellen auf. In so einem System, als auch für den Ausgleich fluktuierende Energien, kann Bioenergie durch die flexible Bereitstellung eine wichtige Rolle spielen, insbesondere auf Basis gasförmiger und fester Biomasse.



GT: Gasturbine, DT: Dampfturbine, BHKW: Blockheizkraftwerk, SNG: Substitute Natural Gas, Lig.: Lignozellulose, BtL: Bio-to-Liquid (synthetischer Kraftstoff)

Abb. 5: Verfügbarkeit der Technologien (Thrän, 2008; aktualisiert)

6. Zusammenfassung

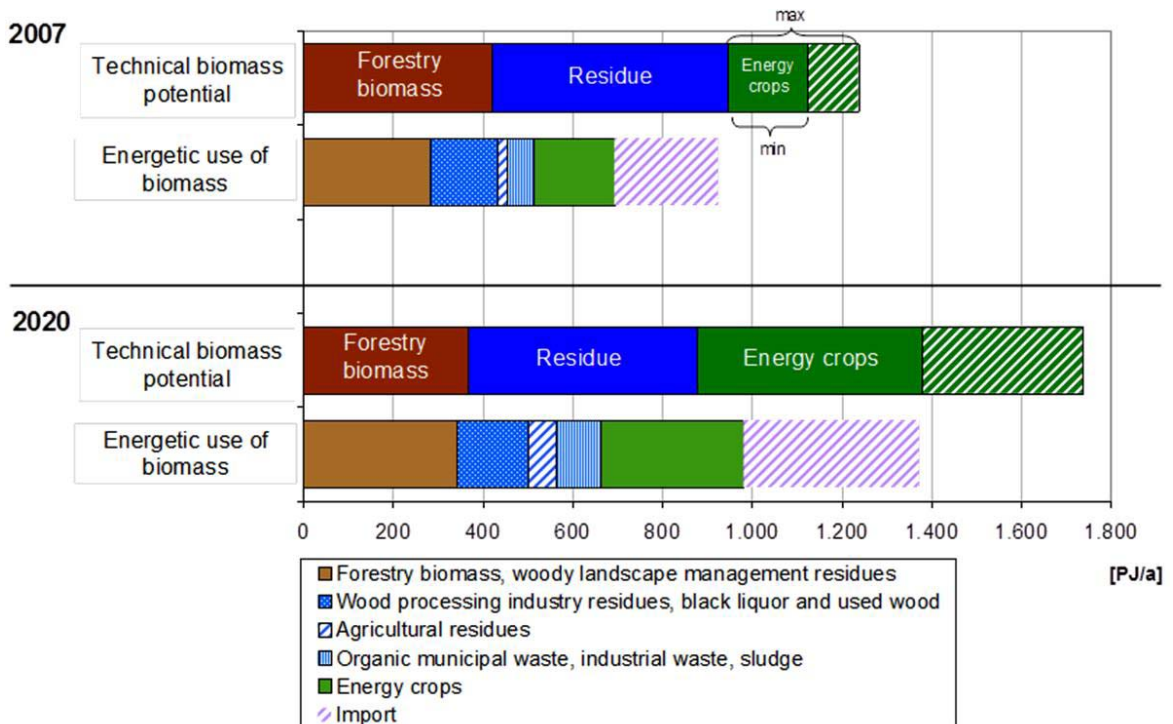


Abb.6: Energetische Nutzung und technische Biomassepotential 2009 und 2020 (DBFZ, 2010)

Das in Abbildung 6 dargestellte technische Biomassepotenzial und die energetische Biomassenutzung im Jahr 2020 sind den Werten von 2007 gegenübergestellt. Die Werte basieren auf den Nationalen Aktionsplan (NREAP) für erneuerbare Energien gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (DBFZ, 2010). Abbildung 6 stellt das gesamte technische Potential in Hinblick auf das verbindliche nationale Ziel der Bundesregierung von 18 % erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch im Jahr 2020 dar. Es ist ein wachsender Anteil von importierter Biomasse im Jahr 2020 gegenüber 2007 zu erwarten.

7. Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl im Bereich der Produktion als auch der Nutzung von Bioenergie vielfältige Möglichkeiten der Optimierung und Diversifizierung der Energiebereitstellung bestehen. Die Entwicklungsmöglichkeiten und damit die zukünftige Rolle der Bioenergie hängen von einer Reihe von Faktoren ab. Zum einen ist die Entwicklung der Biomasseverfügbarkeit ungewiss, da z.B. die Berücksichtigung umfassender Nachhaltigkeitsaspekte gegenwärtig nur teilweise implementiert ist. Zum anderen ist auch die Verfügbarkeit von alternativen Energieträgern und damit auch die Nachfrage- und Angebotstrends nach Biomasse nicht sicher bestimmbar. Durch Innovationen entlang der gesamten Bioenergiebereitstellungskette (z.B. Züchtungsfortschritt, technische Neuerungen, Wirkungsgradsteigerungen, Steigerung der Nutzungseffizienz) kann das Biomassepotenzial bei gleichem Flächenverbrauch erhöht und zusätzlich der Rohstoffeinsatz bei gleichem Energieertrag verringert werden. Der möglichst effiziente Einsatz von Biomasse gewinnt gerade mit Blick auf die Verringerung des gesamten Energieverbrauches durch Energiesparmaßnahmen (z.B. Wärmedämmung, effiziente Elektrogeräte, Stärkung des öffentlichen Nahverkehrs) an Bedeutung.

Um die nachhaltige Nutzung von Biomasse für eine zukünftige Energiebereitstellung zu gewährleisten ist weiterer Forschungsbedarf im Rahmen verschiedener Schwerpunkte notwendig.

- Optimierung der Bereitstellungskette aufgrund einer Ausweitung der Rohstoffbasis auf Reststoffe, alternative Energiepflanzen und Nutzung bisher ungenutzter Flächenpotenziale (z.B. Landschaftspflegematerial, Dauerkulturen und Nutzung von Marginalflächen), Optimierung von Konversionstechnologien (Steigerung der Wirkungsgrade, des Energieertrags und Reduktion der Emissionen) bzw. Ausweitung auf strategische Anwendungsfelder (z.B. Flugturbinenkraftstoffe, Bereitstellung von SDL und Ausgleich fluktuierender Stromerzeugung, Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz).
- Analyse nicht-technischer Rahmenbedingungen (markt-, organisatorisch- und politische Bedingungen, Akteure, Qualitätsstandards, usw.).
- Umfassende Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen entlang der gesamten Bereitstellungskette, integrierte Systemanalyse und Identifizierung von Nutzungskonkurrenzen. Darüber hinaus muss die zukünftige Energieforschung – mit der Entwicklung quantitativer Nutzungsszenarien, Strategien und Instrumenten für die Unterstützung lokaler, regionaler und nationaler Entscheidungsträger bzw. Ansätzen zur Etablierung einer nachhaltigen Energiepolitik – entscheiden, welche Rolle die Bioenergie in einem künftigen Energiesystem einnehmen kann.

Literatur

BMU (2010)

Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung, 2010. BMVBS Online-Publikation, Nr. 27/2010. Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen. Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung, 2010. Impressum. ISSN 1869-9324 URL: <http://z2.zalf.de/oa/1541f3d3-422c-4cb3-ba10-d94139bb60d4.pdf>

Chum (2011)

Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud, 2011: Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA

URL: http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch02

DBFZ (2010)

Interne Forschung, basierend auf: Bundesregierung Deutschland (Hrsg.): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energien gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Berlin, 2010

URL: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nationaler_aktionsplan_ee.pdf

DBFZ (2011)

Vorhaben zur Definition besonders förderungswürdiger Biokraftstoffe, 2011 (unveröff.)

DBFZ (2011)

Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2008-2011, 5. Zwischenbericht, 2011

IEA Bioenergy (2009)

Bioenergy – a sustainable and reliable energy source. Main report. IEA Bioenergy: ExCo: 2009:06, 2009

Kaltschmitt (2008)

Kaltschmitt, M.; Lenz, V.; Thrän, D.: Zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland – Potenziale, Stand und Perspektiven. LIFIS ONLINE [25.04.08]

URL: http://leibniz-institut.de/archiv/kaltschmitt_25_04_08.pdf

Kaltschmitt (2009)

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009

Offermann (2010)

Offermann, R. et al.: Assessment of global bioenergy potentials; Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Bd. 16, S. 103-115, (doi:10.1007/s11027-010-9247-9), 2010

SRU (2007)

Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2007

Thrän (2008)

Thrän, D.: Energie aus Biomasse – Problemfelder und Forschungsnotwendigkeiten. Berliner Abfall- und Energietage am 25. und 26. September 2008 in Berlin. Tagungsband, 2008

Thrän (2011)

Thrän, D., Edel, M., Pfeifer, D., Ponitka, J., Rode, M.: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen bei

weiteren Ausbau der Biomassenutzung, Report N°4, 2011. Deutsches BiomasseForschungs-Zentrum (DBFZ) in Kooperation mit Institut für Umweltplanung (IUP) und Leibniz-Universität Hannover. Gefördert von BMU.

[04.10.11]

Anschrift der Autoren:

Dr. Daniela Thrän
Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH (DBFZ)
Torgauer Str. 226
D – 04347 Leipzig
daniela.thraen@dbfz.de
www.dbfz.de