

Umweltforschung in Baden-Württemberg

Abschlussbericht

Wissenschaftliche Begleitung der Arbeitsgruppe "Synthetische Biokraftstoffe in Baden-Württemberg"

von

Ole Langniß
Zentrum für Sonnenenergie und
Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Förderkennzeichen: L75 24008

Laufzeit: 01.10.2004 - 31.10.2005

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

November 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	3
2	Ergebnisse	4
3	Empfehlungen.....	5
4	Detailanalyse der Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse	8
4.1	Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse.....	8
4.2	Ziele und Instrumente der Förderung regenerativer Kraftstoffe.....	9
4.3	Notwendigkeit von Biokraftstoffen	12
4.4	Nationales Biomassepotenzial.....	14
4.5	Flächenerträge und Effizienz	18
4.6	Nutzenkonkurrenz um Flächen.....	20
4.7	Primärenergieeinsparung unterschiedlicher Biomassenutzungen.....	21
4.8	Treibhausgasminderungen unterschiedlicher Biomassenutzungen	21
4.9	Nebenprodukte aus der Biokraftstoffherstellung.....	24
4.10	Risikobetrachtung aus Investorensicht.....	24
5	Literatur	26

1 Ausgangslage

Die Endlichkeit leichtzugänglicher und kostengünstiger fossiler Energieträger bei gleichzeitig weltweit weiterhin steigendem Verbrauch wie auch die global stark wachsenden Treibhausgasemissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger zwingen zur Suche nach alternativen Kraftstoffen. Die jüngst erheblich gestiegenen Rohölpreise haben dabei den Druck zum Handeln verstärkt. Entsprechend sind auf unterschiedlichen politischen Ebenen Ziele für einen verstärkten Einsatz alternativer Kraftstoffe formuliert worden.¹ Eine technisch viel versprechende Alternative zu fossil basierten Kraftstoffen stellen dabei synthetische Biokraftstoffe dar. Sie lassen sich als flüssiger Energieträger ohne zusätzlichen Aufwand einfach in die bestehende Versorgungsinfrastruktur integrieren. Ihre genau definierten Eigenschaften ermöglichen eine optimale Verbrennung in Verbrennungsmotoren mit entsprechend niedrigen Emissionen. Eine breite Palette unterschiedlicher Biomassen kann zur Herstellung des Kraftstoffes dienen, dabei findet die Umwandlung vergleichsweise effizient statt. Für die heimische Land- und Forstwirtschaft könnten sich potenziell neue Absatzmöglichkeiten ergeben, Arbeit und Einkommen könnten im ländlichen Raum gesichert werden. Die Technologien zur Herstellung befinden sich gegenwärtig allerdings noch in der Pilotphase, eine erste großtechnische Umsetzung wird nicht vor dem Jahr 2010 erwartet.

Vor diesem Hintergrund hat sich im September 2003 auf Initiative des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und DaimlerChrysler eine Arbeitsgruppe mit Vertretern aus dem Hause DaimlerChrysler, dem Ministerium für Umwelt und Verkehr, dem Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, dem Wirtschaftsministerium und verschiedener Forschungseinrichtungen gebildet. Darüber hinaus wurden externe Experten aus der Mineralölindustrie und von Anlagenherstellern zu einzelnen Sitzungen eingeladen. Die Arbeitsgruppe hat sich bisher achtmal getroffen, spezielle Fragestellungen wurden in gesonderten Unterarbeitsgruppen aufbereitet. Um ein realistisches Bild über die verfügbare Biomasse in Baden-Württemberg zu erhalten, wurde im Rahmen der Studie "Mengenszenarien der Biomassebereitstellung" für zwei konkrete Standorte die jeweiligen Biomassepotenziale und deren Kosten für die Synthese von jeweils jährlich 200.000 t Kraftstoff ermittelt. Die Ergebnisse dieser Studie wurden in einem Workshop mit etwa 40 ausgewählten Experten diskutiert.

Die AG-Mitglieder wollen im Informationsaustausch untereinander klären, wie in Baden-Württemberg synthetische Kraftstoffe auf der Basis heimischer Biomassen zur Verfügung gestellt werden können. Dabei wird die gesamte Wanklungskette von der Biomassebereitstellung über die Kraftstoffsynthese bis hin zum Einsatz in Verbrennungsmotoren betrachtet. Entsprechend wurden folgende vier Themenschwerpunkte gesetzt:

¹ Vergleiche dazu Abschnitt 4.2

1. Biomassepotenzial einschließlich der notwendigen Logistik zu deren Erschließung und den sich daraus ergebenden Bereitstellungskosten; gegenwärtige und zukünftige Nutzenkonkurrenzen mit Biomasseanwendungen zur Strom- und Wärmebereitstellung sind zu berücksichtigen
2. Technologien zur Synthese von Biokraftstoffen
3. Einsatz von synthetischen Biokraftstoffen in Fahrzeugmotoren
4. Ganzheitliche Bilanzierung der Energieeffizienz und der Umweltwirkungen der Biokraftstoffsynthese

2 Ergebnisse

Aspekte der **Biomassepotenziale** und der **Logistik** entwickelten sich zu einem Schwerpunkt der Arbeiten der Arbeitsgruppe. Dazu wurde eine Studie durch das ITAS des FZ Karlsruhe erstellt, die anschließend auf einem Workshop in einem Kreis ausgewählter Experten unterschiedlicher Fachrichtungen diskutiert wurde. Die Ergebnisse der Studie wurden im Rahmen des Workshops weitgehend bestätigt.²

Die Studie "Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung" von Leible et al. weist für zwei konkrete Standorte **ausreichende heimische Biomasse** nach, um eine Kraftstoffsynthese aus Biomasse mit einer Jahreskapazität von jeweils 200.000 t Kraftstoff in Baden-Württemberg betreiben zu können. Demnach ständen an beiden Standorten jeweils eine Million Tonnen Biomasse in einem Umkreis von 50 bis 60 km um den Standort zur Verfügung. In der Studie wurden Getreidestroh, Heu und Waldrestholz als Energieträger untersucht. Zusätzlich wurde exemplarisch für den gezielten Energiepflanzenanbau gegenwärtiger Prägung Silomais analysiert. Vergleichsweise kostengünstig hat sich **Waldrestholz** erwiesen, das zu Kosten von 60 €/Tonne Trockenmasse frei Anlage zur Verfügung gestellt werden kann, während Stroh zu 90 €/Tonne zur Verfügung stände. Das in der Studie errechnete Waldrestholzaufkommen stellt dabei eher die obere Grenze des theoretischen Potenzials dar, die angegebenen Kosten gehen dagegen von mittleren Verhältnissen aus.

Die Bereitstellung von **Heu** und **Silomais** ist gegenüber Waldrestholz **deutlich teurer**, Mais hat etwa dreimal höhere Bereitstellungskosten als Waldrestholz. Der Kostenvorteil des Waldrestholzes gegenüber allen anderen Biomassearten bleibt dabei auch über längere Entfernungen erhalten.

In der Studie unberücksichtigt bleibt die **Konkurrenzsituation** mit der Nutzung der Biomasse zur Wärme- und Strombereitstellung und auch ihrer stofflichen Nutzung. Die Strombereitstellung aus Biomasse hat in den vergangenen Jahren in Folge des EEG stark zugenommen, mit einem Wachstum dort und auch zur Wärmebereitstellung ist auch zukünftig zu rechnen. Schließlich

² Die Diskussion auf dem Workshop sind in einem schriftlichen Protokoll umfänglich dokumentiert.

bietet eine stoffliche Nutzung tendenziell höhere Erlöspotenziale für die Land- und Forstwirtschaft als die energetische Nutzung. Diese Anwendungen können die zur Kraftstoffsynthese zur Verfügung stehende Biomasse erheblich einschränken. Dies gilt insbesondere für die Ressource Waldrestholz. Die Preise für heimische Biomasse werden sich also im Marktspiel von (inländisch begrenztem) Angebot und (steigender) Nachfrage ergeben. Es ist zu vermuten, dass die **Preise** für einheimische Biomasse in Zukunft über den **reinen Bereitstellungskosten** liegen werden und somit höher als in der Studie dargestellt sein werden. Aufgrund der gegenwärtig hohen Dynamik bei der energetischen Verwertung von Biomasse konnten aber keine definitiven Zahlen genannt werden. Diese Dynamik betrifft sowohl die Angebotsseite, aber noch viel mehr die Nachfrageseite. Bei einem steigenden Absatz von Biomasse in Deutschland wird es aber verstärkt auch zu einem Import von Biomasse und fertigem Biokraftstoff kommen.

DaimlerChrysler berichtete laufend über die aktuelle technische Entwicklung der **Kraftstoffsynthese** in der Pilotanlage in Choren, ergänzt durch Ausführungen des Anlagenbetreibers und der Fa. SHELL. Weiterhin fanden die laufenden Arbeiten des Forschungszentrums Karlsruhe zur Kraftstoffsynthese aus Pyrolyseöl Berücksichtigung. Das Ziel, eine großtechnische Biokraftstoffsynthese mit einer jährlichen Produktion von 200.000 t Kraftstoff bis zum Jahr 2010 zu realisieren, scheint aus heutiger Sicht ambitioniert. Gegenüber anderen biogenen Reinkraftstoffen hat BtL insbesondere den Vorteil, aus einer ganzen Anzahl unterschiedlicher Biomassen herstellbar zu sein. Eine abschließende technische und ökonomische Bewertung konnte allerdings bisher aufgrund fehlender Daten und der sich noch im Fluss befindlichen technischen Entwicklung nicht vorgenommen werden.

Der Einsatz von synthetischen Biokraftstoffen in **Fahrzeugmotoren** ist problemlos. Aus der Möglichkeit, die Eigenschaften des Kraftstoffes in engen Grenzen genau festzulegen, ergeben sich schon bei der Zumischung zu fossilem Kraftstoff wie auch insbesondere als Reinkraftstoff erhebliche Vorteile beim Verbrauch und bei den Emissionen.

Synthetische Biokraftstoffe weisen gegenüber anderen Biokraftstoffen potenziell Vorteile bezüglich der resultierenden **Treibhausgasemissionen** auf, wie die Auswertung aktueller Lebenszyklusanalysen ergab. Anders als etwa bei der Produktion von Biodiesel ist bei synthetischen Biokraftstoffen kein zusätzlicher Einsatz von fossilen Brennstoffen notwendig, darüber hinaus lässt sich bei synthetischen Biokraftstoffen auch die gesamte Biomasse nutzen und nicht nur einzelne Teile einer Pflanze. Auf der anderen Seite ist die Wandlung über Biomassevergasung und anschließender Konversion in der Synthese sehr energieaufwändig und entsprechend verlustreich.

3 Empfehlungen

Für Baden-Württemberg lassen sich aus der o.g. Studie, den Diskussionen innerhalb der Arbeitsgruppe wie auch auf dem Workshop zur o.g. Studie folgende **Schlussfolgerungen** ableiten:

1. Die Kraftstoffsynthese kann in Baden-Württemberg mit heimischer Biomasse betrieben werden.
2. Mit Waldrestholz steht in Baden-Württemberg ein im Vergleich zu landwirtschaftlichen Reststoffen kostengünstiges Potenzial an Biomasse zur Verfügung, woraus sich für Baden-Württemberg gegenüber anderen Bundesländern ein Standortvorteil ableitet.
3. Der zusätzliche Absatz von Waldrestholz zur Kraftstoffsynthese ist aber nicht notwendigerweise an den Synthesestandort Baden-Württemberg gebunden, da das Waldrestholz aufgrund seiner im Vergleich zu anderen Biomassen hohen Energiedichte auch über längere Entfernungen vergleichsweise kostengünstig zu transportieren ist.
4. Während sich für die Forstwirtschaft damit zusätzliche Einkommensmöglichkeiten aus der Biokraftstoffsynthese ergeben, trifft dies für die Landwirtschaft eher nicht zu. Eine Ausnahme stellt nur der Absatz von Reststroh im Umkreis von 15 km um die Synthesanlage dar.
5. Ein Anlagenstandort wird immer so gewählt werden, dass er auch für überregionale Transporte gut und kostengünstig erreichbar ist. In Baden-Württemberg bieten sich damit Standorte an den beiden schiffbaren Flüssen Rhein und Neckar an.
6. Durch die überregionale Erschließung stehen damit heimische Biomassen in Konkurrenz mit importierten Biomassen.
7. Die Nutzung des forstwirtschaftlichen Potenzials für die Kraftstoffsynthese steht in direkter Konkurrenz zu anderen energetischen Nutzungen (Strom, Wärme) wie auch insbesondere der stofflichen Verwertung. Letztere bietet der Forstwirtschaft tendenziell höhere Wertschöpfungsanteile.

Die Kraftstoffsynthese aus Biomasse bietet zusammenfassend für die Forstwirtschaft in Baden-Württemberg zusätzliche Einkommensmöglichkeiten. Eine Synthesanlage in Baden-Württemberg würde eine Referenz für den Technologiestandort mit seiner starken Automobilindustrie und der umfassenden Kraftstoffforschung darstellen. Gleichzeitig könnte Baden-Württemberg als bedeutender Raffineriestandort weiter verankert werden.

Die Arbeitsgruppe hat sich als Diskussionsforum zwischen Industrie, Politik und Forschung bewährt. Der enge Dialog zwischen diesen unterschiedlichen Gruppen ist für die effiziente Umsetzung neuer Technologien wertvoll. Es wird empfohlen, aufgrund des nach wie vor großen Forschungsbedarfs das Wissenschaftsministerium in diesen Dialog einzubinden. Auch eine stärkere laufende Einbindung der Mineralölindustrie wird empfohlen.

Es ergeben sich folgende **offene Fragen** für die Umsetzung von Biokraftstoffen, die von der Arbeitsgruppe Synthetische Biokraftstoffe in Zukunft bearbeitet werden sollten:

- Vergleich der Ressourcenlage in Baden-Württemberg mit anderen Standorten in Deutschland, Europa und weltweit. Dabei Berücksichtigung der Nachfrage aus konkurrierenden Anwendungen und den sich daraus ableitenden Marktpreisen.
- Absatzwege für Kraftstoffe unter Einbeziehung der Mineralölindustrie.
- Benchmarking von Technologiepfaden für unterschiedliche BtL und im Vergleich zu anderen Biokraftstoffen.
- Einordnung von Biokraftstoffen in die zukünftige Kraftstoffversorgung
- Stärkere Berücksichtigung von Form und Inhaltsstoffen der mobilisierbaren Biomasse.
- Diskussion zukünftiger Instrumente zur Förderung biogener Kraftstoffe.
- Berücksichtigung volkswirtschaftlicher Effekte der Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse; so könnten beispielsweise die zusätzlichen Arbeitsplätze letztlich zu geringeren Aufwendungen für die Arbeitslosenversicherung führen.

Darüber hinaus kann die Arbeitsgruppe bei folgenden **konkreten Vorhaben begleiten**:

- Kongress "Mobil mit Biomasse" am 26.9.2006 in der Mercedes-Welt im Rahmen des Landwirtschaftlichen Hauptfestes mit Teilnahme MP Oettinger.
- Landtagsausschuss zum Thema Biokraftstoffe
- Kritische Begleitung der zu errichtenden Biokraftstoffsynthese am FZ Karlsruhe einschließlich Präsentation des Forschungsvorhabens "Gaserzeugung aus Biomasse".

4 Detailanalyse der Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse

Im Folgenden werden einige Aspekte der Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse vertiefend betrachtet.

4.1 Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse

Die wichtigsten, gegenwärtig verfolgten Verfahren zur Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomassen sind:

1. Mechanische, thermische und chemische Ölextraktion aus ölhaltigen Pflanzen wie z.B. Raps mit anschließender Umesterung (RME).
2. Fermentation von zucker- und stärkehaltigen Energiepflanzen wie Zuckerrohr, Zuckerrüben und Getreide zu Ethanol; zukünftig lassen sich auch Lignocellulose aus Stroh und Holz aufschließen.
3. Fermentation von Abfällen und Energiepflanzen zu Biogas.
4. Thermochemische Verfahren von Biomasse zur Erzeugung eines Synthesegases (Syngas) als Zwischenprodukt und nachfolgend Synthese zu Methanol, synthetischen Benzin- und Diesel-Kraftstoffen, Methan oder Wasserstoff.

Diese drei ersten Verfahren sind weitgehend ausgereift. Trotzdem besitzen sie noch erhebliche Entwicklungspotenziale. Sie werden im Gegensatz zu den thermochemischen Verfahren auch schon in nennenswerten Größenordnungen zur Kraftstoffherzeugung eingesetzt. So werden in Deutschland regenerative Kraftstoffe noch fast ausschließlich aus Raps (Biodiesel oder Rapsmethylester) hergestellt. Der **Biodieselabsatz** betrug im Jahr 2004 **1.040.000 t**, das entspricht 3,5 % des Dieselkraftstoffabsatzes in Deutschland. Die Anlagenkapazität zur Herstellung von Biodiesel hat sich seit 1998 verzehnfacht und betrug Ende 2004 1,2 Million t/a (UFOP 2005a, BT 15/5816). Es wird damit gerechnet, dass diese Kapazität bis Ende 2006 auf über 2 Millionen t steigen wird (UFOP 2005a). Kein anderes Land der Welt hat eine höhere Produktionskapazität aufzuweisen. In der EU-25 wurden 1,9 Million t Biodiesel im Jahr 2004 produziert (Euroobserver 2005). Dies bedeutet einen Zuwachs um ein Viertel gegenüber dem Vorjahr. Im Fünfjahreszeitraum 1997-2001 wuchs dagegen die Biodieselproduktion durchschnittlich nur um jährlich 1 % (Johansson und Turkenburg 2004)

Im Jahr 2004 wurden 20.000 t **Ethanol** und 42.500 t ETBE (ein Ether aus biogenem Ethanol und fossilem Isobuten) in Deutschland produziert. In der EU-25 betrug die Ethanolproduktion im Jahr 2004 knapp eine halbe Million t, darüber hinaus wurden 626.300 t ETBE produziert (Euroobserver 2005). Die Produktion stieg damit gegenüber dem Vorjahr um 15 %, was einen sprunghaften Anstieg des Wachstum gegenüber dem langjährigen durchschnittlichen Wachstum von 2 %/a im Zeitraum seit 1997 bedeutet (Johansson und Turkenburg 2004, Euroobserver 2004). Ethanol wurde 2001 in Brasilien mit 12 Milliarden Liter oder ca. 40 % des gesamten Kraftstoffverbrauchs und in den USA mit 7,5 Milliarden Liter oder ca. 1,5 % des Kraftstoffverbrauchs bereits im großen Maßstab produziert. Als Folge der Befreiung von Biokraftstoffen von der Mineralölsteuer

werden in Deutschland derzeit drei größere Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 630 Millionen Liter Ethanol pro Jahr errichtet (BT 15/5816). Damit könnte 1,1 % des gegenwärtigen Ottokraftstoffbedarfs in Deutschland ersetzt werden. In den Anlagen soll in erster Linie Weizen und Roggen umgesetzt werden.

Während Gase aus der Vergärung von Biomassen schon vielfach zur Bereitstellung von Wärme und Strom benutzt werden, ist der Einsatz von **Biogas** zum Antrieb von Fahrzeugen über Demonstrationsprojekte bisher nicht hinausgekommen. Europaweit befinden sich derzeit nur etwa 2000 mit Biogas betriebene Fahrzeuge im Einsatz, die meisten davon in Schweden.

Die viel versprechenden **thermochemischen Verfahren** sind grundsätzlich bekannt und in Laborversuchen nachgewiesen, zum großtechnischen Einsatz besteht aber noch ein erheblicher Forschungsbedarf. Dabei lassen sich sowohl flüssige Kraftstoffe (Synthetischer Diesel und Benzin, Methanol) wie auch gasförmige Kraftstoffe (Methan, Wasserstoff) herstellen. Diese denkbaren Kraftstoffe werden in folgender Tabelle verglichen und konventionellem Otto- und Dieseldieselkraftstoff gegenübergestellt.

	Eignung für		Infrastruktur- anforderungen	Lokale Emissionen	Fahrzeug- reichweite	Well to Tank Effizienz
	Verbrennungs- motoren	Brennstoff- zellen				
Wasserstoff	+	++	-	++	-	o / +
Methan/SNG	+	-	+ / o	+	o	o
Methanol	+	+	+ / o	+	+	o
SynFuels	+	o / -	++	o / +	++	-
Otto-/Diesel- kraftstoff	+	--	++	o	++	++

Abbildung 1: Bewertung unterschiedlicher synthetischer Kraftstoffe aus Biomasse (Specht 2005).

Der in obiger Tabelle angestellte Vergleich stellt notwendigerweise eine Momentaufnahme dar, da die Verfahren einer dynamischen Entwicklung unterliegen. Weiterhin sind viele Parameter aus heutiger Sicht noch unsicher. Ein solcher Vergleich kann somit auch nicht zu endgültigen Ergebnissen führen, er kann aber zu einer Strukturierung der Diskussion über den Einsatz von Biomasse zur Kraftstofferzeugung beitragen.

4.2 Ziele und Instrumente der Förderung regenerativer Kraftstoffe

Die Förderung von Kraftstoffen auf der Basis erneuerbarer Energien ist unterschiedlich motiviert. Insgesamt werden erneuerbare Energien als ein unverzichtbarer Bestandteil einer zukünftigen

nachhaltigen Energieversorgung angesehen. Gegenüber fossilen Energieträgern weisen sie geringere Treibhausgasemissionen und eine im Allgemeinen bessere Umweltverträglichkeit auf und tragen zum Ressourcenschutz und zur Verringerung der Importabhängigkeit bei. Wertschöpfung und Arbeitsplätze werden im Inland geschaffen. Im Vergleich zu nuklearen Energieträgern sind mit ihrer Nutzung geringere Risiken verbunden. Klimaschutz und Versorgungssicherheit sind also die wesentlichen Aspekte, die für die Nutzung erneuerbarer Energien sprechen.

Das Land **Baden-Württemberg** strebt daher an, den Anteil erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010 gegenüber 1997 ebenfalls zu verdoppeln. Die **Bundesregierung** hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2010 von heute 3,1 % auf mindestens 4,2 % zu steigern. Langfristig, d.h. bis zum Jahr 2050, soll die Hälfte des Primärenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Bei der Stromerzeugung wird sogar eine Erhöhung des Anteils auf 12,5 % bis 2010 bzw. 20 % bis 2020 gegenüber 9,1 % im Jahr 2004 angestrebt. Die **Europäische Kommission** strebt an, den Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch gegenüber dem Jahr 1997 bis zum Jahr 2010 auf 12 % zu verdoppeln (EU 1997).

Die energetische Nutzung der Biomasse wird als eine wesentliche Säule zur Steigerung des Beitrages erneuerbarer Energien zur Energieversorgung angesehen. Zu den Aspekten des Klimaschutzes und der Erhöhung der Versorgungssicherheit tritt dabei die Stützung der heimischen Landwirtschaft und damit der Entwicklung ländlicher Räume als zusätzliche Motivation hinzu (BMVEL 2004). Laut Umweltplan des Landes **Baden-Württemberg** sollen durch die dezentrale Nutzung von Biomasse (einschließlich Holz) zur Strom- und Wärmeerzeugung vor allem im ländlichen Raum bis zum Jahr 2010 2,5% des Primärenergieverbrauchs in Land gedeckt werden. Aus Sicht des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (**BMVEL**) soll der Anteil der Bioenergie am Primärenergieverbrauch von 1,7 % im Jahr 2003 auf 3 % im Jahr 2010 gesteigert werden. Das angestrebte Wachstum für Biomasse ist damit größer als das angestrebte Wachstum für erneuerbare Energien insgesamt, was die große angestrebte Bedeutung der Biomasse für die zukünftige Energieversorgung unterstreicht. Dies gilt auch auf europäischer Ebene, wo 83 % des angestrebten Wachstums auf dem Einsatz von Biomasse beruhen soll (EU 1997).

Allerdings bleibt auf europäischer Ebene das tatsächlich erzielte Wachstum im Bereich der Bioenergie bisher deutlich hinter diesem Ziel zurück (EU 2004). Aus Sicht der Europäischen Kommission ist es daher notwendig, Potenziale und Technologien zur energetischen Nutzung der Biomasse noch eingehender zu bewerten, in den Politikfeldern „Energie“, „Landwirtschaft“, „Ländliche Entwicklung“, „Umwelt“ und „Handel“ die Förderung der energetischen Nutzung stärker mit einzubeziehen und schließlich auch in den neuen Mitgliedsländern entsprechende Instrumente zu implementieren (EU 2004). Die Europäische Kommission erarbeitet dazu gegenwärtig einen umfassenden **Biomasseaktionsplan** für den Zeitraum 2007 – 2013 aus.

Auch speziell für den **Verkehrsbereich** sind **Ziele** gesetzt worden. In der Europäischen Union sollen Biokraftstoffe bis zum Jahr 2005 einen Anteil von 2 % und bis 2010 von 5,75 % am

gesamten Kraftstoffabsatz haben (EU 2003). Dies ist durch entsprechende Maßnahmen der Mitgliedsstaaten sicherzustellen. Im Unterschied zu früheren, auf europäischer Ebene verkündeten Zielsetzungen³ ist durch die Möglichkeit, Biokraftstoffe ganz oder teilweise von den nationalen **Mineralsteuern** zu **befreien**⁴, den Mitgliedsstaaten erstmals auch ein konkretes und schlagkräftiges Instrument zur Zielerreichung an die Hand gegeben worden. Bisher haben neben Deutschland Frankreich, Großbritannien, Italien, Österreich und Spanien von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht. Mit der letzten Änderung des Mineralölsteuergesetzes zum 1.1.2004 sind nunmehr nicht nur wie bisher biogene Kraftstoffe in Reinform von der Mineralölsteuer in Deutschland befreit, sondern auch deren Anteile in Zumischungen zu fossilen Kraftstoffen.

Aktuell wird in Deutschland die **Beimischungspflicht** als Alternative zur Mineralölsteuerbefreiung diskutiert, so etwa der aktuelle Koalitionsvertrag vom November 2005. Durch die international sprunghaft angestiegenen Mineralölpreise führt eine vollständige Mineralölsteuerbefreiung in Deutschland zu einer erheblichen Überkompensation der Zusatzkosten aus der Biokraftstoffbereitstellung, die gegenüber dem letzten Jahr noch einmal deutlich gestiegen ist (BT 15/5816). Eine Entspannung der internationalen Mineralölmärkte ist dabei derzeit nicht absehbar, eine Überkompensation würde bei unveränderter Gesetzeslage also im erheblichen Umfang auch in Zukunft bestehen bleiben. Weiterhin sind die öffentlichen Haushalte sehr angespannt, der Steuerausfall aus der Mineralölsteuerbefreiung nicht akzeptabel.

Eine **Beimischungspflicht** lässt sich in unterschiedlichen **Elementen** gestalten. So kann sich die Verpflichtung auf eine tatsächliche physikalische Beimischung zu jedem abgesetzten Liter beziehen oder aber auf den gesamten Absatz eines Kraftstoffherstellers. Mit letzterem wären auch weiterhin reine fossile wie auch reine biogene Kraftstoffe möglich. Der Nachweis über die Erfüllung kann über eine tatsächliche Beimischung im jeweiligen Unternehmen erfolgen oder aber über handelbare Zertifikate, so dass der tatsächliche physische Biokraftstoffanteil in einzelnen Unternehmen von der eigentlichen prozentualen Quote abweichen kann, die Quote aber trotzdem über dem gesamten Kraftstoffabsatz in Deutschland eingehalten werden würde. Dabei muss ein sicherer Herkunftsnachweis für den Biokraftstoff gewährleistet sein. Eine Verpflichtung kann sich ausschließlich auf flüssige Kraftstoffe beziehen, aber auch gasförmige Kraftstoffe mit entsprechenden Perspektiven für Biogas mit einbeziehen. Sanktionen bei Nichteinhaltung der Beimischungspflicht sind einzuführen und in ihrer Höhe festzulegen. Neben einer einzelstaatlichen Regelung besteht auch die Möglichkeit, dass sich eine Verpflichtung auf mehrere Mitgliedstaaten oder – was derzeit allerdings als nur schwer umsetzbar angesehen wird – auf die gesamte EU bezieht.

³ EP 1998, EU 2001. Siehe auch die europäische „Campaign to take off“ Initiative der Europäischen Kommission, die eine Produktion von 5 Millionen Tonnen Biokraftstoffe bis zum Jahr 2003 vorsah.

⁴ EC 2003

Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Ausgestaltungsvarianten sind unter den konkreten Bedingungen des deutschen Marktes abzuwägen.

Im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik wird darüber hinaus für maximal insgesamt 1,5 Million Hektar beim Anbau von Energiepflanzen eine **Flächenprämie** von 45 €/ha gewährt. Zwischenzeitlich wird diskutiert, ob im Rahmen der oben erwähnten Strategie noch ambitioniertere Ziele für das Jahr 2010 festgelegt werden können (EU 2004). Für das Jahr 2020 schließlich sollen 20 % der Treibstoffe für den Straßenverkehr durch alternative Kraftstoffe ersetzt werden, wobei dies neben den Biokraftstoffen mittel- bis langfristig auch Erdgas und auf ganz lange Sicht auch Wasserstoff umfasst (EU 2001). Die Verringerung der Importabhängigkeit, die derzeit bei Öl in der Europäischen Union bei 76 % liegt, ist dabei eine wesentliche Motivation für diese kurz- und mittelfristigen, aber auch die langfristigen Zielsetzungen. Auch der Trend des stetig wachsenden Beitrages des Verkehrssektors zu den Treibhausgasemissionen soll auf diese Weise gebremst werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich die Politik zur Förderung erneuerbarer Energien sowohl auf nationaler wie auch auf europäischer Ebene bisher insbesondere auf die Elektrizitätserzeugung konzentriert hat. Erst im Jahr 2003 sind für den Einsatz von Biokraftstoffen konkrete Ziele auf europäischer und daraus abgeleitet auf nationaler Ebene gesteckt worden. Zugleich ist mit der Befreiung der Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer auch ein wirkungsvolles Instrument zur Förderung der Biokraftstoffe außer in Deutschland bereits auch in fünf weiteren Mitgliedsstaaten implementiert worden. Während auf nationaler Ebene dabei der Klimaschutz und die Entwicklung ländlicher Räume im Vordergrund stehen, wird auf europäischer Ebene die Verringerung der Importabhängigkeit betont.

4.3 Notwendigkeit von Biokraftstoffen

Selbst wenn die Konversion von Biomasse in flüssige, mit heutigen Kraftstoffen in ihrer Charakteristik vergleichbare Kraftstoffe mit geringeren Umweltvorteilen und einem geringeren Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung als die alternative Anwendung der Biomasse zur Wärme- und Strombereitstellung verbunden sein sollte (siehe dazu Abschnitte 4.6 und 4.7), kann die Biokraftstoffproduktion aus anderen Gründen schon heute angezeigt sein:

Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor gering

Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor ist im Vergleich zum Strom- und Wärmesektor erheblich geringer.

Im Sektor Verkehr wurden im Jahr 2002 28,7 % der gesamten Endenergie in Deutschland verbraucht (Geiger und Wittke 2004). Dabei handelt es zu 97 % um Kraftstoffe. Während die Stromversorgung mittlerweile schon zu 9,3 % auf erneuerbaren Energien basiert und die Wärmeversorgung zu 4,2 %, lag der Beitrag erneuerbarer Energien zum Kraftstoffverbrauch im Jahr 2004 bei nur 1,6 %. Angesichts der wachsenden Bedeutung des Verkehrssektors und den bisher geringen Anteilen erneuerbarer Energien in diesem Sektor ist es angebracht, dass auch im Verkehrssektor ein angemessener Beitrag zum Erreichen des politisch gewollten höheren

Anteils erneuerbarer Energien an der Energieversorgung geleistet wird, wenn auch dieser möglicherweise geringer ausfällt als der anderer Sektoren.

Der Anteil des Verkehrsektors an den energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland ist von 15,7 % im Jahr 1990 stetig auf 20,1 % im Jahr 2002 gestiegen und wird vermutlich auch in Zukunft weiter wachsen (Ziesing 2004). Auch vor dem Hintergrund dieser Entwicklung scheint es angezeigt, die bisherigen Anstrengungen zur CO₂-Minderung im Verkehrssektor über den forcierten Einsatz regenerativer Kraftstoffe zu verstärken.

Umsatz im Verkehrsbereich hoch

Die finanziellen Beiträge des Kraftstoffssektors zur Förderung erneuerbarer Energien sind mit 0,4 % des Umsatzes im Vergleich zu anderen Sektoren (Wärme 0,9 %, Strom 1,7 %) bisher gering.

Der Umsatz der mineralölverarbeitenden Industrie betrug im Jahr 2003 einschließlich der Verbrauchssteuern €78,5 Milliarden (BMW 2004)⁵. Auf Bundesebene lagen die Aufwendungen zur Förderung von regenerativen Kraftstoffen, d.h. die Kosten der Mineralölsteuerbefreiung im Jahr 2003 bei €330 Millionen, d.h. vier Promille des Umsatzes. Der Umsatz in der Elektrizitätsversorgung lag bei €87 Milliarden (STAT 2003, Werte für 1999, neuere Zahlen nicht verfügbar), die Aufwendungen zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf Bundesebene bei €1,5 Milliarden (BMU 2004) oder 1,7 % des Umsatzes. In der Gas- und Fernwärmeversorgung war der Gesamtumsatz 1999 €23 Milliarden (STAT 2003), mit einer Förderung auf Bundesebene von geschätzt €200 Millionen, entsprechend neun Promille des Umsatzes. In Sinne einer gerechten Verteilung der Lasten des angestrebten Ausbaus erneuerbarer Energien, aber auch unter dem Aspekt der Zumutbarkeit macht dieser Vergleich der Umsätze und Fördervolumina deutlich, dass der verstärkte Einsatz regenerativer Kraftstoffe und damit auch eine Ausweitung deren Förderung vertretbar ist.

Anteil der Kraftstoffkosten an Gesamtbeförderungskosten begrenzt

Die Kraftstoffkosten machen nur ein Viertel der spezifischen Vollkosten eines typischen PKW aus⁶, entsprechend haben Erhöhungen der Kraftstoffkosten nur geringe Auswirkungen auf die Vollkosten der Beförderung.

Eine Erhöhung der Kraftstoffpreise um beispielsweise 10 %, das entspricht auf den gegenwärtigen Bruttopreis bezogen 0,10 bis 0,12 €/l, führt daher insgesamt nur zu einer Erhöhung der Vollkosten je gefahrenen Kilometer von 2,5 %. Bei einer typischen jährlichen Fahrleistung von 14.000 km und einem durchschnittlichen Verbrauch von 8 l/100 km ergibt sich eine jährlich Zusatzbelastung von 112 €. Selbst eine teilweise Überwälzung der Zusatzkosten regenerativer Kraftstoffe auf den Autofahrer scheint daher vertretbar.

⁵ Die Kraftfahrzeugindustrie selbst hatte im Jahre 2001 einen Umsatz von €258 Milliarden (STAT 2003).

⁶ ADAC 2005. Zugrunde gelegt ist ein Fahrzeug der unteren Mittelklasse, die etwa ein Viertel des KFZ-Bestandes in Deutschland ausmacht.

Importabhängigkeit bei Kraftstoffen in EU 98 %

Eine wichtige Motivation für den Zubau erneuerbarer Energien ist die Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten. 76 % des in der Europäischen Union verbrauchten Erdöls stammt aus Importen. Damit ist die Abhängigkeit in diesem Bereich bedeutend größer als beim Primärenergieverbrauch insgesamt, der gegenwärtig erst zur Hälfte über Importe gedeckt wird. Während der Verkehr zu 98 % vom Erdöl abhängig ist, stützt sich die Strom- und Wärmeversorgung in Europa und auch in Deutschland im speziellen auf einen wesentlich stärker diversifizierten Energiemix. Die Verringerung der Importabhängigkeit ist somit im Verkehrsbereich wesentlich drängender als bei der Strom- oder Wärmeversorgung.

Dämpfung von Preisschwankungen

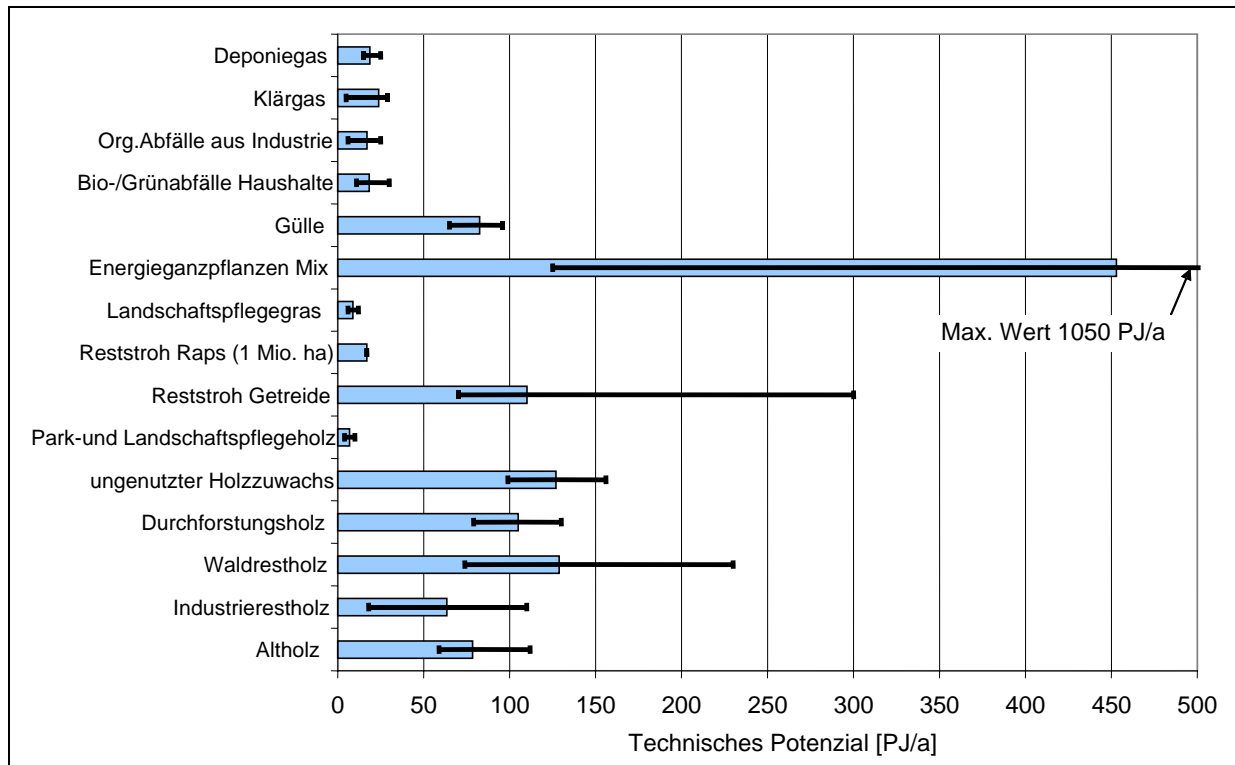
Heimische Biokraftstoffe können zur Dämpfung der Schwankungen von **Kraftstoffpreisen** beitragen, der Beitrag ist jedoch aufgrund des geringen Anteils der Rohölkosten an den Marktpreisen gering.

Die Preise für Rohöl schwanken erheblich. So gab es in den vergangenen fünf Jahren Preisänderungen bis zu einem Viertel von einem Monat zum anderen. Regenerative Kraftstoffe als zuvörderst heimische Energiequelle sind frei von solchen politischen Einflüssen. Daher kann der Einsatz regenerativer Kraftstoffe zur Schwankungsdämpfung beitragen. Allerdings ist zu beachten, dass die Rohstoffkosten einschließlich der MWSt. auf diese Rohstoffkosten nur einen Anteil von 23,7 % an den Bruttopreisen ab Tankstelle (im Durchschnitt des Zeitraumes 1999 - 2003, MWV 2004) haben. Damit würde beispielsweise rein rechnerisch ein regenerativer Kraftstoffanteil von 5,75 % einen Preisanstieg von z.B. 25 % nur um 1,6 Prozentpunkte dämpfen. Vermutlich gehen die Dämpfungseffekte aber über diesen Betrag hinaus, da mit einer durch den Biokraftstoffanteil verminderten Nachfrage nach Rohöl auch die Rohölbezugskosten nicht im selben Maße steigen wie ohne Biokraftstoffe.

4.4 Nationales Biomassepotenzial

Ein beachtlicher Teil des deutschen Energiebedarfs kann mit heimischer Biomasse gedeckt werden. Die heimischen Biomassepotenziale sind jedoch für eine vollständige Deckung des deutschen Kraftstoffbedarfs **nicht ausreichend**.

Auf der Basis von 24 verschiedenen Literaturangaben ergibt sich für Deutschland ein technisches Biomassepotenzial von 1260 PJ/a (Abbildung 2). Damit ließen sich rein rechnerisch 8,7 % des gegenwärtigen Primärenergieverbrauchs oder - bei einer mittleren Konversionsrate von Biomasse in Kraftstoffe von 50 % - etwa **23 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs** decken.



Quelle: Specht et al 2004

Abbildung 2: Zusammensetzung des technischen Biomassepotenzials von insgesamt 1260 PJ/a in Deutschland. Angegeben sind jeweils der Mittelwert und die Bandbreite verschiedener Studienergebnisse.

Das Biomassepotenzial besteht zum **überwiegenden Teil** aus **holzartiger Biomasse** (43 %), wovon wiederum etwa ein Viertel auf den ungenutzten Holzzuwachs entfällt. Ebenfalls erheblich ist das Aufkommen an Reststroh aus der Landwirtschaft. Bedeutend ist aber insbesondere das Potenzial des gezielten Anbaus von Energiepflanzen, wobei hier von einer dauerhaft zur Verfügung stehenden Fläche für den Energiepflanzenanbau von zwei Millionen Hektar ausgegangen wird. Zum Vergleich: Die derzeit genutzte Ackerfläche in Deutschland beträgt ca. 11,5 Millionen Hektar. In der Literatur finden sich jedoch teilweise niedrigere, mit bis zu vier Millionen Hektar aber auch deutlich höhere Angaben. Im Jahr 2005 wurden auf einer Fläche von 1,3 Millionen Hektar nachwachsende Rohstoffe angebaut, wovon allein eine Million Hektar auf Rapsanbau entfielen (UFOP 2005a). 80 % der auf diesen Flächen erzielten Erträge dienten der Biodieselproduktion. Damit ist also bereits die Hälfte der für den Energiepflanzenanbau potenziell zur Verfügung stehenden Flächen für diese Zwecke genutzt.

Die für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Fläche kann sich allerdings drastisch durch eine Ausweitung des Ökolandbaus, der Schaffung von **Biotopverbänden** und der Bepflanzung von **erosionsgefährdeten** Ackerbauflächen mit mehrjährigen Kulturen vermindern (Nitsch et al 2004). Unter Berücksichtigung dieser aus ökologischer Sicht erstrebenswerten alternativen Nutzungen ständen im Jahr 2010 anstatt der von Nitsch et al. ursprünglich angenommenen 2,5 Millionen Hektar nur noch 150.000 Hektar für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung (Abbildung 3). Die den beschriebenen alternativen Nutzungen zugeführten Flächen gehen dabei nicht gänzlich für die energetische Biomassenutzung verloren,

da aus der Pflege dieser Flächen Biomassen mit einem Energiegehalt von 150 PJ anfallen. Darüber hinaus vergrößert sich nach dem Jahr 2010 wieder das potenzielle Flächenangebot für den Energiepflanzenanbau, da man beispielsweise aufgrund der weiter steigenden landwirtschaftlichen Produktivität bei gleichzeitig schrumpfender Bevölkerung von einem verminderten Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion ausgehen kann. Schon wegen des langen Betrachtungshorizonts sind letztere Überlegungen jedoch zwangsläufig mit einer großen Unsicherheit behaftet.

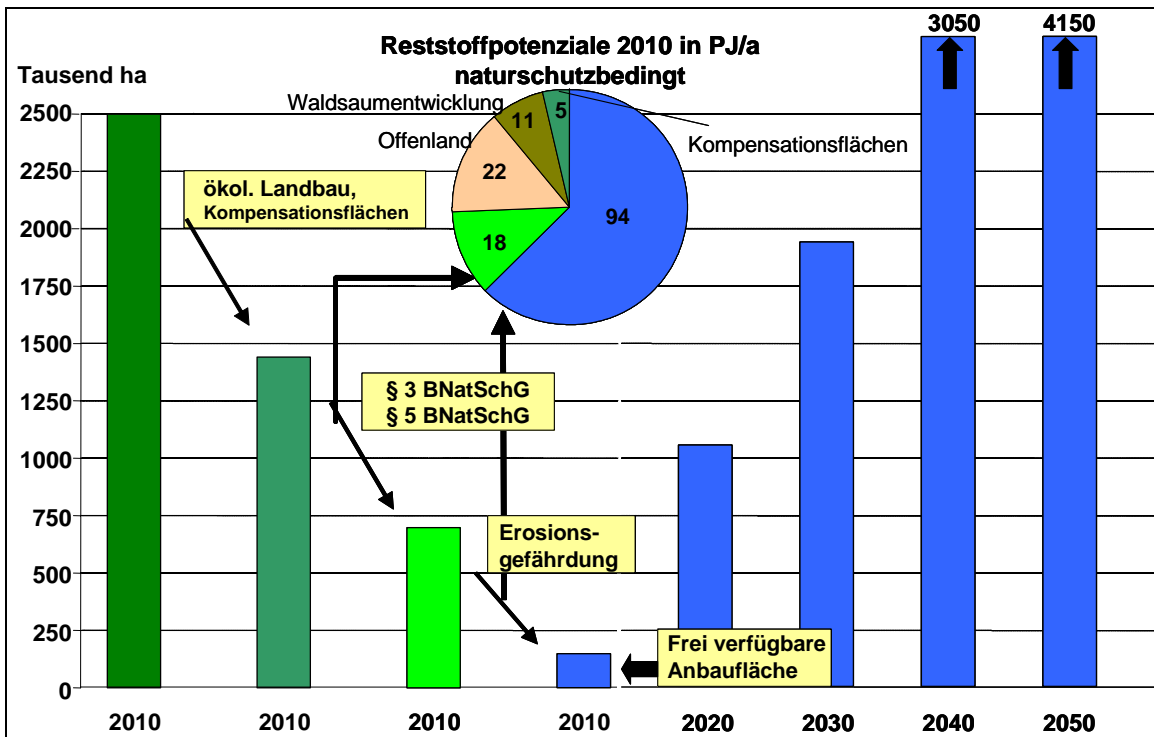


Abbildung 3: Verminderung der potenziellen Anbaufläche für Energiepflanzen durch Anforderungen des Naturschutzes im Jahr 2010. Gleichzeitig werden die potenziell nach 2010 durch Ertragssteigerung und abnehmende Bevölkerung freiwerdenden Flächen dargestellt (Nitsch et al 2004).

Selbst wenn man davon ausgeht, dass die beschriebenen Naturschutzziele nur zum Teil erfüllt werden und damit wie eingangs dargestellt weiterhin für den Energiepflanzenanbau zwei Millionen Hektar Ackerfläche zur Verfügung ständen, so reicht das gesamte für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehende heimische Biomassepotenzial einschließlich der Reststoffe nur dazu aus, etwa 9 % des deutschen Primärenergieverbrauchs, oder - bei einer mittleren Konversionsrate von Biomasse in Kraftstoffe von 50 % - etwa 23 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs abzudecken. Um das Mengenziel der EU von 5,75 % des Kraftstoffbedarfs in Deutschland zu erreichen, sind mit den heute großindustriell verfügbaren Techniken z.B. für den Anbau von Raps zur Biodieselproduktion 1,4 Millionen Hektar und zusätzlich für die Ethanolproduktion 500.000 Hektar (auf der Basis von Zuckerrüben) bzw. eine Million Hektar (auf der Basis von Weizen) notwendig.

Sollen zur Erreichung des EU-Ziels ausschließlich heimische Biomasse verwendet werden, so ist mit der dazu notwendigen Ethanol- und Rapsdieselproduktion bereits das gesamte **Potenzial** für **Energiepflanzenanbau** in Deutschland ausgeschöpft, ohne dass die Biomasse dann einen Beitrag zur Wärme- oder Strombereitstellung oder für stoffliche Anwendungen leisten würde. Die im Juli 2004 verabschiedete Novellierung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) gewährt eine attraktive Vergütung für Strom aus Energiepflanzen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass ähnlich wie in der Vergangenheit schon bei der Verwertung des Altholzes ein erheblicher Anteil von Energiepflanzen zur Erzeugung von Strom herangezogen werden wird und somit für andere Verwendungen nicht mehr zur Verfügung steht. Somit müssten Biokraftstoffe selbst oder aber die Biomasse zu ihrer Erzeugung nach Deutschland eingeführt werden, um das 5,75 % Ziel in Deutschland zu erreichen. Ein **Import** von **Biokraftstoffen** bzw. **Biomassen** bedeutet aber, dass ein mehr oder weniger großer Teil des in Deutschland geübten Steuerverzichts von jährlich 2,5 Milliarden €⁷ dann nicht der heimischen (Land-)Wirtschaft zugute kommen würde, sondern ins Ausland abflöÙe.

Auch wenn man die **Europäische Union** mit ihren 25 Mitgliedsländern betrachtet, reicht das gesamte zur Verfügung stehende Potenzial aus biogenen Reststoffen und Energiepflanzen nur dazu, knapp ein Drittel des gegenwärtigen Kraftstoffverbrauchs in der EU-25 abzudecken (Specht et al. 2004). Bei diesen Betrachtungen bleibt die konkurrierende stoffliche Verwertung der Biomasse ebenso wie die Bereitstellung von Wärme oder Strom aus Biomasse unberücksichtigt (siehe dazu weiter unten).

Aus diesen Potenzialbetrachtungen folgt zusammenfassend:

1. Der potenzielle Beitrag der Biomasse zur Kraftstoffversorgung ist begrenzt. Der heutige Kraftstoffbedarf kann maximal zu knapp einem Viertel durch den Einsatz heimischer Biomasse gedeckt werden.
2. Biokraftstoffe sollten daher mit anderen heutigen und zukünftigen Kraftstoffen kompatibel sein, um den Aufbau einer gesonderten, flächendeckenden Versorgungsinfrastruktur und der Einsatz prinzipiell anderer Fahrzeugmotoren zu vermeiden.⁸
3. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Biomassequellen sind Verwertungspfade aufzubauen, die sich auf mehrere Biomassequellen stützen können.
4. Biomasseverwertungspfade mit hohen spezifischen Kraftstoffträgen pro Fläche sind anzustreben.

⁷ Unter Zugrundelegung des derzeitigen Verbrauchs von Dieselmotorkraftstoff (27,9 Millionen t/a) und Ottomotorkraftstoff (26 Millionen t/a), einem Anteil von Biokraftstoff von 5,75 % und einer Mineralölsteuer einschließlich zugehöriger Mehrwertsteuer von 0,545 €/l (schwefelarmes Diesel) bzw. 0,759 €/l (schwefelreicher Ottomotorkraftstoff).

⁸ Der Aufbau einer gesonderten Infrastruktur ist prinzipiell möglich, wie das Beispiel Erdgas als Kraftstoff zeigt. Es ist jedoch mit erheblichen Kosten verbunden, und größere Zeiträume zu ihrer Umsetzung sind einzuplanen, wie auch das Beispiel Erdgas zeigt.

5. Das begrenzte Potenzial an Biomasse muss dazu mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad zu Nutzenergie umgesetzt werden.
6. Der Einsatz von Biokraftstoffen kann nicht die Anstrengungen zu verbrauchsärmeren Fahrzeugen ersetzen, sondern sie nur bei einer Strategie hin zu treibhausgasärmeren Verkehr unterstützen.

4.5 Flächenerträge und Effizienz

Das begrenzte heimische Biomassepotenzial sollte möglich effizient genutzt werden. Bereitstellungspfade mit **hohen Flächenerträgen**, **Ganzpflanzennutzung** und hohen **Konversionsraten** sind anzustreben

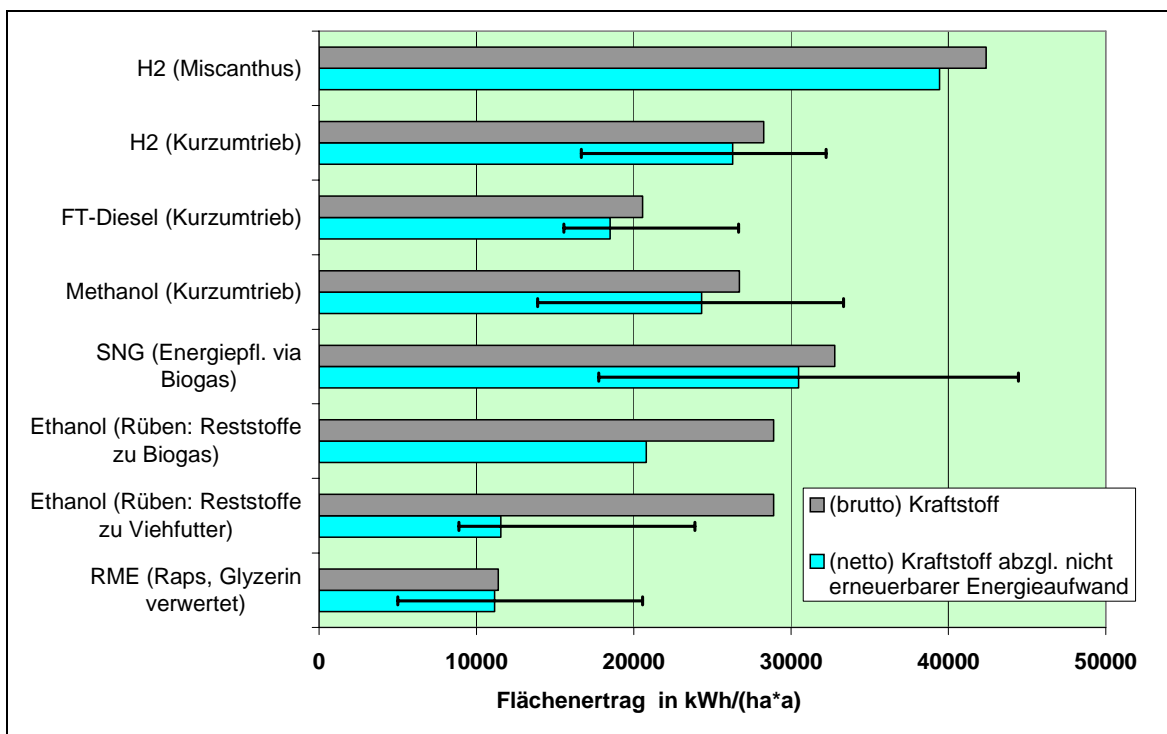
Die **Biodiesel** aus Raps und **Ethanol** aus Zuckerrüben und Getreide sind mit heutigen fossilen Kraftstoffen kompatibel und lassen sich problemlos bis zu gewissen Anteilen diesen zumischen. Allerdings können in beiden Pfaden bisher keine biogenen Reststoffe aus der Landwirtschaft und der Industrie verarbeitet werden. Biodiesel stützt sich darüber hinaus nur auf eine einzige Nutzpflanze, den Raps ab. Die energetischen Flächenerträge sind - wie Tabelle 1 zeigt - im Vergleich zu anderen Energiepflanzen bedeutend kleiner. Biodiesel auf der Basis von Raps ist daher nur als Übergangslösung auf dem Weg zu anderen Kraftstoffen anzusehen. Die Tabelle macht darüber hinaus deutlich, dass Verwertungspfade, die die ganze Energiepflanze nutzen können, einen deutlichen energetischen Vorteil aufweisen. Ganzpflanzen haben zudem den Vorteil, dass vielfältige Arten der Biomasse in einer Anlage verarbeitet werden können und so Monokulturen beim Anbau vermieden werden können.

Tabelle 1: Energetische Flächenerträge unterschiedlicher Energiepflanzen in GJ/ha-a.

Energiepflanzen	Flächenertrag (GJ/ha)
Rapskörner	71,5
Raps Ganzpflanze	87,2
Weizenkörner	119
Weizen Ganzpflanze	204
Zuckerrüben	196
Zuckerrüben Ganzpflanze	243,3

Vergleicht man nicht nur den Energiegehalt der nutzbaren Energiepflanzen, sondern den spezifischen Kraftstofftrag, der auch die Umwandlungsverluste berücksichtigt, wird der energetische Nachteil des Kraftstoffpfades Rapsdiesel gegenüber anderen Optionen noch deutlicher (Abbildung 4) Die Flächenerträge sind als erzielbare Energie an **Kraftstoff pro Hektar** und Jahr aufgetragen. Die verschiedenen Kraftstoffe benötigen zu ihrer Herstellung unterschiedliche Mengen an nicht erneuerbarer Energie, was durch den zweiten, kleineren Balken in Abbildung 4 symbolisiert wird, bei dem der nicht erneuerbare Energieanteil von den Bruttoerträgen abgezogen ist. Zusätzlich ist die Variationsbreite bei den Nettoerträgen dargestellt (Dreier 2000, Schindler 2003, eigene Berechnungen). Die Netto-Kraftstoffträge mit den höchsten Erträgen sind mit Herstellungsverfahren zu erzielen, die über eine primäre Gaserzeugung ablaufen (Synthesegas- bzw. Biogaserzeugung). Bei Verfahren, die nur bestimmte Pflanzenteile wie Öl,

Zucker und Stärke nutzen (Rapsdiesel, Ethanol), sind die Flächenerträge kleiner. Die Bandbreite reicht unter mitteleuropäischen Klimabedingungen hierbei von etwa 11 MWh/(ha·a) für Biodiesel aus Raps bis zu etwa 40 MWh/(ha·a) für die Erzeugung von Wasserstoff aus Miscanthus über die thermochemische Vergasung. Für den derzeit schon genutzten Kraftstoff Ethanol sind zwei unterschiedliche Herstellungsvarianten mit identischem Brutto-Kraftstofftrag angegeben, die sich aber im Nettoertrag unterscheiden. Die Differenzen resultieren aus der unterschiedlichen Nutzung der Rest- bzw. Nebenprodukte. In einem Fall wird Biogas aus den anfallenden Reststoffen gewonnen, was den Einsatz an nicht erneuerbarer Energie vermindert und somit netto einen höheren Ertrag ermöglicht als bei einer stofflichen Verwertung als Futter.



Anmerkung: mitteleuropäische Klimabedingungen
 Die angegebenen Bandbreiten resultieren aus verschiedenen Berechnungen.
 H₂: Druckwasserstoff bei 250 bar; SNG: Erdgassubstitut bei 250 bar

Abbildung 4: Flächenerträge an Kraftstoff pro Hektar und Jahr für verschiedene Kraftstoffpfade - brutto und netto (abzüglich der zur Herstellung benötigten, nicht erneuerbaren Energie) (Specht et al. 2004).

Die **enzymatische Aufschließung** von Holzzellulosen mit anschließender Fermentation zu Ethanol gilt nicht nur in Deutschland, sondern angesichts des großen Potenzials von Reststroh (Kim und Dale 2004) auch weltweit als aussichtsreich. Damit könnten nicht nur größere Teile der Energiepflanze, sondern auch Reststoffe zu Ethanol umgesetzt werden. Da sich dieses Verfahren derzeit erst in der Erprobung befindet (IOGEN 2004, Schmitz 2005), können allerdings keine gesicherten Aussagen über die zu erzielenden spezifischen Nettokraftstoff-erträge getroffen werden.

An der Universität Hohenheim wird ein Verfahren erarbeitet, das eine ökologisch besonders verträgliche Ethanolproduktion verspricht. Ein wesentliches Element ist dabei die anaerobe Fermentierung der Getreideschlempe (Schmitz 2005).

4.6 Nutzenkonkurrenz um Flächen

Die Kraftstoffbereitstellung konkurriert mit anderen energetischen Verwertungsmöglichkeiten der Biomassen, also der Strom- und Wärmeerzeugung, sowie der stofflichen Verwertung. Im Sinne einer optimalen Nutzung des begrenzten Potenzials sind dabei jene Verwertungspfade vorzuziehen, die möglichst viel fossile und nukleare Energie ersetzen und den Ausstoß an Klimagasen am stärksten mindern. Dies sollte mit möglichst geringen Zusatzkosten geschehen. Im Jahr 2003 wurden in Deutschland 82 % der Bioenergie in Wärme, 10,2 % in Kraftstoffe und 7,8 % in Strom umgewandelt.

Die Kraftstoffherstellung aus Biomasse nutzt, wie dargestellt, bisher nicht die ganze Pflanze, sondern nur Teile davon. Weiterhin ist die Konversion der Biomasse zu einem flüssigen oder gasförmigen Kraftstoff mit größeren Verlusten verbunden. Bei der **Wärmeerzeugung** kann dagegen gemeinhin die gesamte zur Verfügung stehende Biomasse energetisch umgesetzt werden, d.h. meist verbrannt werden, ohne dass vergleichbar verlustreiche Wandlungsschritte wie bei der Kraftstoffbereitstellung notwendig wären. Das Verhältnis von Endenergie⁹ zu eingesetzter Biomasse ist somit besser.

Solange die anfallende Abwärme nicht genutzt wird, ist die **Stromerzeugung** aus Biomasse ähnlich verlustreich wie die Kraftstoffbereitstellung. Kann die Wärme dagegen genutzt werden, also die Biomasse in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage zu Strom und Wärme umgesetzt werden, so können vergleichbar hohe Wirkungsgrade wie bei der reinen Wärmebereitstellung erzielt werden.

Vernachlässigt man in erster Näherung den Einsatz nicht-erneuerbarer Energien zur Bereitstellung der Endenergie, so ist die Biomasse umso vorteilhafter eingesetzt, umso mehr Endenergie pro Einheit Biomasse bzw. pro Fläche erzielt werden kann. Ein Vergleich der technischen Endenergiepotenziale aus Biomasse unter Einschluss von biogenen Reststoffen ergibt, dass bei einer vollständigen Umsetzung des Potenzials entweder 360 bis 470 PJ/a Strom oder 920 – 1240 PJ/a Niedertemperatur-Wärme oder 520 – 1000 PJ/a Kraftstoffe bereitgestellt werden könnten (Kaltschmitt und Thrän 2003)¹⁰. Somit ergibt sich mit heutigen Techniken der **höchste Energieertrag**, wenn die Biomasse zur **Wärmeerzeugung** genutzt wird, gefolgt von der Strombereitstellung.

⁹ Nur bei Kraftstoff und Strom handelt es sich im eigentlichen Sinne um Endenergie, während Wärme Nutzenergie ist. Hier wird Wärme jedoch auch unter Endenergie subsummiert vergleichbar etwa mit der Fernwärme in der Energiestatistik.

¹⁰ Die z. T. große Schwankungsbreite der Potenziale ergibt sich aufgrund Unsicherheiten über die verfügbaren Biomasse-Rohstoffpotenziale und den Einsatz unterschiedlicher Wandlungstechniken.

4.7 Primärenergieeinsparung unterschiedlicher Biomassenutzungen

Zur Beurteilung unterschiedlicher Verwertungspfade muss auch die Effizienz der durch die Biomasseanwendung verdrängten konventionellen Energie mit dem entsprechenden Bereitstellungspfad berücksichtigt werden. Je größer die Effizienz des konventionellen Pfades, also z.B. des Gasheizkessels einschließlich Gastransport und –aufbereitung in der Vorkette, desto geringer die **Einsparung fossiler Primärenergie** durch den Einsatz der Biomasse.

Die **Kraftstofferzeugung aus Rohöl** ist mit nur geringen Verlusten von etwa 20 % über die gesamte Vorkette verbunden, jeder Liter Biodiesel ersetzt also nur eine geringfügig größere Menge von Rohöl. Das Gleiche gilt für Erdgas und Heizöl für Wärmezwecke. Anders dagegen die Stromerzeugung, die besonders verlustreich ist, soweit die anfallende Abwärme nicht genutzt wird. Entsprechend wird besonders dann viel konventionelle Energie ersetzt, wenn eine ungekoppelte Stromerzeugung durch Strom aus Biomasse Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) ersetzt wird.

4.8 Treibhausgasminderungen unterschiedlicher Biomassenutzungen

Unter Klimaschutzgesichtspunkten ist der Einsatz von Biomasse zur Wärme- und Strombereitstellung gegenwärtig der Kraftstoffbereitstellung vorzuziehen. Die Umwandlung von Biomasse zu Kraftstoffen muss deutlich effizienter werden, soll sie mit alternativen Biomasseanwendungen bezüglich der Klimateffizienz konkurrieren können.

Die durch die energetische Biomasseanwendung verdrängten konventionellen Bereitstellungspfade weisen unterschiedliche **CO₂-Intensitäten** auf. Gerade bei der Stromerzeugung kommt es dabei ganz wesentlich darauf an, welche Kraftwerkskapazitäten durch den Biomasseeinsatz verdrängt werden. Anhand der CO₂-Reduktion durch den Einsatz von einem Terajoule Waldholz in unterschiedlichen Verwertungspfaden können diese Zusammenhänge beispielhaft demonstriert werden (Nitsch et al. 2004). Berechnet werden dabei die Klimagasemissionen durch die Bereitstellung und Nutzung der Biomasse abzüglich einer Gutschrift für die erzeugten Produkte Strom, Wärme respektive Kraftstoff (Abbildung 5).

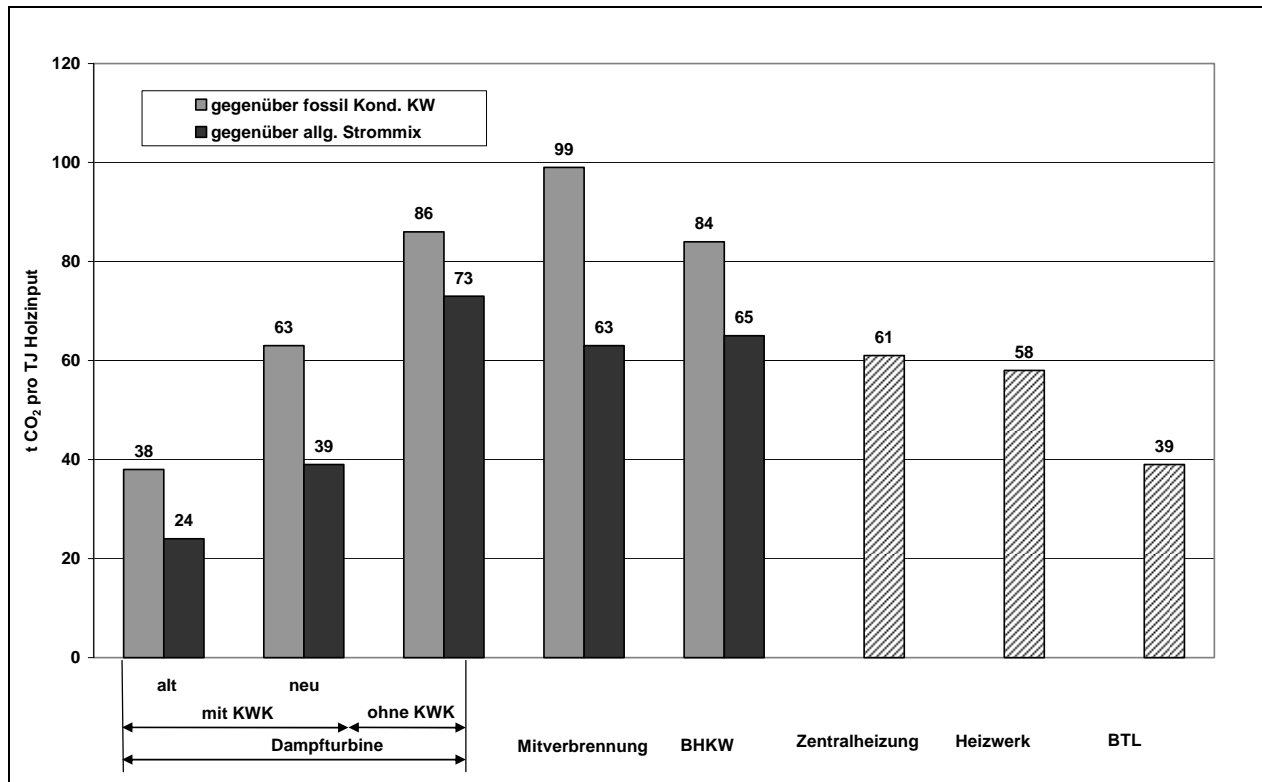


Abbildung 5: Vergleich der Treibhausgasreduktion durch den Einsatz einer TJ Waldholz in unterschiedliche Verwertungspfade. (Nitsch et al 2004).¹¹

Die höchsten Reduktionen lassen sich über die **Mitverbrennung in Kraftwerken** erzielen, gefolgt von dem Einsatz in KWK-Anlagen. Selbst ohne KWK lassen sich über die Stromerzeugung mehr Klimagase vermeiden als über die Wärme- oder Kraftstoffbereitstellung, falls moderne effiziente Kraftwerke zum Einsatz kommen. Dieser Vorteil verschwindet allerdings, falls man davon ausgeht, dass nicht ein Zubau von fossilen Kraftwerken, sondern der vorhergesagte durchschnittliche Mix des Jahres 2010 verdrängt wird. Dann ist die Wärmeerzeugung vorteilhafter und selbst die Kraftstoffherstellung zieht dann bezüglich der Klimagasreduktion mit der ungekoppelten Stromerzeugung gleich. Dabei ist zu unterstreichen, dass der hier angenommen Nutzungsgrad der Biomassekonversion zu Kraftstoff mit 50 % schon deutlich über dem liegt, was mit synthetischen Fischer-Tropsch-Kraftstoffen bisher erzielt wurde. Auf der anderen Seite versprechen andere Konversionspfade wie die thermochemische Vergasung von Biomasse mit anschließender Shift-Reaktion zu Wasserstoff Nutzungsgrade bis zu 70 %.

¹¹ Um die Verdrängungswirkung zu quantifizieren, wird Strom mit dem Mix eines angenommenen Zubaus fossiler Kondensationskraftwerke im Jahr 2010 (helle Balken) bzw. alternativ mit dem durchschnittlichen angenommenen Strommix 2010 (dunkle Balken, einschließlich verbliebenen Atomkraftwerken und deutlich ausgeweiteter regenerativer Stromerzeugung) bewertet. Biowärme ersetzt hier den durchschnittlichen Wärmemix, Biokraftstoff fossiles Diesel. Exemplarisch wird die Verstromung der Biomasse in einer modernen Dampfturbine ohne KWK mit 29 % Nutzungsgrad dargestellt, daneben auch die gleiche Dampfturbine mit KWK und eine ältere Dampfturbine mit einem niedrigeren elektrischen Nutzungsgrad aufgenommen, wie er heute noch vielfach zu finden ist. Zusätzlich ist die Mitverbrennung von Biomasse berechnet. Auf der Kraftstoffseite ist mit BtL die Herstellung von Fischer-Tropsch-Diesel aus Holz mit einem angenommenen, sehr guten Nutzungsgrad von 50 % dargestellt.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich hierbei nur um eine von vielen mögliche Biomasse-Ressourcen handelt, und die Betrachtung nur für einen Zeitpunkt, nämlich das Jahr 2010 gilt. So sind weitere Wirkungsgradsteigerungen bei fossilen Kraftwerken zu erwarten, so dass der spezifische Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung und damit die spezifischen Klimagasemissionen weiter sinken werden. Falls keine ebensolchen Steigerungen bei der Stromerzeugung aus Biomasse zu erreichen sind, wird der Vorteil der Strombereitstellung aus Biomasse gegenüber der Wärme- und Kraftstoffbereitstellung schrumpfen.

Weiterhin sind die Ergebnisse stark von Werturteilen, also insbesondere der Frage, welche Kraftwerke durch die Biomasse ersetzt werden, abhängig. Die hier wiedergegebene Darstellung geht implizit davon aus, dass Atomenergie gemäß des Energiekonsenses in einem absehbare Zeitraum auf jeden Fall ausläuft und diese Kapazität im Referenzfall durch fossile Kondensationskraftwerke ersetzt wird. Damit ersetzen Biomassekraftwerke dann nicht die weitgehend CO₂-neutralen Atomkraftwerke, sondern den Zubau. Der Einsatz der Biomasse vermindert in dieser Betrachtungsweise also absolut betrachtet nicht die Gesamtemissionen an Klimagasen, sondern ausschließlich den sonst durch den Atomausstieg zu erwartenden **Anstieg an Treibhausgasemissionen**.

Sollte der Strommix auch nach 2010 mehr und mehr auf erneuerbaren Energien basieren, dann steigt die Wahrscheinlichkeit, dass mit der Verstromung von Biomasse nicht nur fossil erzeugter Strom, sondern eben auch regenerativ erzeugter Strom ersetzt wird. Selbst wenn man aber der Annahme folgt, dass nur der Zubau fossiler Kraftwerke ersetzt wird, so muss dieser Zubau nicht zwangsläufig nur in Kondensationskraftwerken erfolgen. Vielmehr bietet der Bau neuer fossiler Kraftwerke auch die Chance, vermehrt in die fossile KWK einzusteigen. Es spricht kaum etwas dafür, dass die generell mit großen Hemmnissen verbundene Umsetzung der KWK bei Biomasse-Kraftwerken einfacher sein sollte als bei fossilen Kraftwerken. So wird zum Beispiel in nur wenigen der über das EEG geförderten Biomasse Kraftwerke die anfallende Abwärme für Heizungszwecke genutzt (Scheuermann et al 2003).

Geht man nicht von bestimmten Arten von Biomassen aus, wie sie als **Rest- und Abfallstoffe** vorliegen, sondern von landwirtschaftlichen Flächen, die für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen, so ändert sich die Fragestellung für einen Vergleich der Klimawirkungen von unterschiedlichen Verwertungspfaden der Biomasse. Es sind jene Optionen vorteilhaft, die eine hohe spezifische Klimagasreduktion pro Anbaufläche ermöglichen. Da hierbei auch die unterschiedlichen Erträge unterschiedlicher Pflanzen neben den Konversionswirkungsgraden eine Rolle spielen, kann sich ein anderes Bild ergeben. Nach Nitsch et al (2004, S. 100) ergeben sich vergleichsweise die höchsten Klimagasreduktionen bei der Ethanolerzeugung aus Zuckerrüben, gefolgt von Kurzumtriebspappeln mitverbrannt in Kraftwerken oder verwendet für Heizzwecke. Die Reduktionen durch Raps-Biodiesel sind dagegen vergleichsweise gering.

Zusammenfassend lässt sich nach heutigem Stand des Wissens sagen, dass die **Wärmebereitstellung** aus biogene Rest- und Abfallstoffen der Kraftstoffbereitstellung bezüglich der potenziellen Gesamterträge und spezifischen Ausbeute vorzuziehen ist. Die Bewertung der Stromerzeugung aus Biomasse hängt stark von den angenommenen Randbedingungen ab

(KWK bei Biomasseverstromung, Art des verdrängten Stroms). Sowohl bezüglich der Substitution von endlichen Energieträgern wie auch bei der Reduktion von Klimagasen kann die Strombereitstellung aus Biomasse vorteilhafter, aber auch schlechter als die alternative Wärme- und auch Kraftstoffbereitstellung sein. Bei der Verwertung von Energiepflanzen weist die Kraftstoffbereitstellung sogar eindeutige Vorteile auf. Damit die Kraftstoffbereitstellung in der Nutzenkonkurrenz um die beschränkt vorhandenen Biomassen bestehen bleiben kann, müssen die Wirkungsgrade der Konversion zu Kraftstoffen deutlich erhöht werden. Verwertungspfade mit möglichst wenigen Wandlungsschritten haben dabei einen prinzipiellen Vorteil.

4.9 Nebenprodukte aus der Biokraftstoffherstellung

Die bei der Herstellung von Biokraftstoffen je nach eingesetzter Technologie im unterschiedlichen Maße anfallenden **Nebenprodukte** sind kritisch für die ökonomische und ökologische Bewertung unterschiedlicher Verfahren.

Nebenprodukte fallen insbesondere bei der Herstellung von Rapsdiesel und Bioethanol an. Die Nutzung der Koppelprodukte ist dabei schwierig. Neben diesen primären Koppelprodukten wie Rapsstroh oder Zuckerrübenblätter fallen auch sekundäre Koppelprodukte bei der Umwandlung in Kraftstoffe an. Bei der Herstellung von Biodiesel aus Raps sind dies beispielsweise Rapsschrot und Glycerin. Der stofflichen Verwertung auf den derzeitigen Pfaden sind in vielen Bereichen bei steigender Produktion von Biokraftstoffen Grenzen gesetzt. Dies ist umso kritischer, als dass die Vermarktung dieser Nebenprodukte nicht nur energetisch sinnvoll ist, sondern wie etwa im Fall des Glycerins auch ein wichtiges zusätzliches Einkommen ist, ohne die Biokraftstoffe nicht wirtschaftlich darstellbar sind. So ließen sich Ende des Jahres 2003 pro Tonne Glycerin nur noch 500 € Erlösen gegenüber 1000 € früher, was bereits zur Insolvenz eines Biodieselherstellers geführt hat (Trechow 2004). Hier können ggf. neue Verwertungspfade Entlastung schaffen. Die energetische Verwertung der Koppelprodukte stößt dagegen noch auf technische und infrastrukturelle Probleme, die zu vertretbaren Kosten bisher häufig nicht zu überwinden sind.

Verfahren, die die **gesamte Pflanze** in Kraftstoffe umsetzen, sind daher schon vom Prinzip her energetisch effektiver und der Rapsdiesel- und Ethanolherstellung in seiner gegenwärtigen Form vorzuziehen. Aber auch der Fortentwicklung der thermochemischen Verfahren zur Umsetzung von Ganzpflanzen ist auf eine Minimierung der Koppelprodukte zu achten. Gleichzeitig sollten diese Koppelprodukte soweit wie möglich am Anlagenstandort energetisch verwertbar sein.

4.10 Risikobetrachtung aus Investorensicht

Je geringer die für einen Biomassepfad zu tätigen spezifischen Investitionen, umso geringer ist das Risiko für Investoren. Können also die getätigten Investitionen auch für andere Zwecke verwendet werden, so sind diese selbst bei einem Scheitern des Pfades nicht verloren.

Mit der Einführung eines neuen Biokraftstoffes sind erhebliche Investitionen verbunden. In Land- und Forstwirtschaft kann allerdings zur Aussaat, Pflege und Einbringung der Biomasse weitgehend auf bestehende Infrastruktur zurückgegriffen werden. Damit müssen Land- und Forstwirte keine zusätzlichen Investitionen tätigen. Eine Ausnahme stellen dabei

Kurzumtriebsplantagen dar, da einerseits spezialisierte Erntemaschinen deutlich effizienter sind und zum anderen die Anbaufläche über mehrere Jahre bis zu den ersten Erträgen festgelegt ist. Die Raffinerien zur Aufbereitung der Biomasse in Kraftstoffe stellen häufig spezifische Investitionen dar, die meist nicht für andere Zwecke verwendet werden können.¹² Soweit der Biokraftstoff nicht zu konventionellen Kraftstoffen zugemischt wird, sondern getrennt vermarktet wird, sind zusätzliche Investitionen in Transport und Tankstellen notwendig. Schließlich müssen ggf. die Fahrzeugmotoren an den Einsatz von Biokraftstoffen angepasst werden.

Bei gleichen Gesamtkosten sind jene Kraftstoffpfade risikoärmer, bei denen der Fixkostenanteil niedrig ist. Da hohe Umsetzungsgrade gemeinhin mit höheren Anlageninvestitionen verbunden sind, sind solche Pfade unter diesem Gesichtspunkt im Nachteil. Nur wenn eine bessere Konversion von Biomasse zu Kraftstoff kostengünstiger ist und der Kostenvorteil groß genug ist, um das zusätzliche Risiko zu entgelten, werden sich solche Pfade durchsetzen können. Je länger der Zeitraum ist, über den eine Investition üblicherweise abgeschrieben wird, desto größer ist im Allgemeinen das damit verbundene Risiko. Will man energieeffiziente und technologieintensive Verwertungspfade bevorzugt fördern, so sind daher **langfristig stabile** und absehbare **Förderbedingungen** besonders wichtig.

Das Risiko ist weiterhin dann hoch, wenn die Investitionen nur für einen ganz bestimmten Zweck eingesetzt werden können, also weitgehend ihren Wert verlieren, falls die Produktion eingestellt wird. Dementsprechend sind Pfade, die eine Zumischung des Biokraftstoffes zu schon derzeit angebotenen Kraftstoffen erlauben, aus der Sicht des Vertriebs risikoärmer.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass mit Investitionen in Biokraftstoffe die bereits getätigten **Investitionen in fossile Pfade** tendenziell entwertet werden. Unter diesem Aspekt ist der Aufbau einer neuen, getrennten Infrastruktur für Biokraftstoffe aus der Sicht der Mineralölindustrie nicht nur deshalb nachteilig, weil zusätzliche Investitionen zu tätigen sind, sondern weil bestehende Anlagen tendenziell entwertet werden. Die Überkapazitäten der deutschen Raffinerien verstärken diesen Effekt. Auf der anderen Seite ist der durch Biokraftstoff verdrängte Absatz konventionellen Kraftstoffs selbst bei Erreichen der Ziele immer noch verhältnismäßig gering.

¹² Anlagen zur Herstellung von ethanolbasiertem ETBE werden derzeit allerdings so ausgeführt, dass eine spätere Umstellung zurück zu fossil basiertem MTBE ohne großen Aufwand möglich ist (Streich 2004).

5 Literatur

ADAC. Allgemeiner Deutscher Automobil Club. Homepage. <http://www.adac.de/>. Zugriff am 22.6.2005.

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA). Homepage. <http://www.bmwi.de>. Zugriff am 15.7.2005.

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Berlin 2004.

BT 15/5816. Bericht zur Steuerbegünstigung für Biokraft- und Bioheizstoffe. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bundestagsdrucksache 15/ 5816. 21.6.2005.

Dreier, T.: Ganzheitliche Systemanalyse und globale Potenzialanalyse biogener Kraftstoffe. Dissertation TU-München, IfE Schriftenreihe, Heft 42. Herrsching. 2000.

European Commission: Energy for the future: Renewable sources of energy. Communication from the Commission. White paper for a community strategy and action Plan. COM(97)599 final (26/11/1997). Brüssel 1997.

European Commission: European transport policy for 2010. Time to decide. White paper. Brüssel 2001

European Commission: Renewable energy to take off in Europe? Memo. Brüssel 2004.

European Council: Restructuring the Community Framework for the taxation of energy products and electricity. Council directive 2003/96/EC. 27 October 2003. Brussels.

Europäisches Parlament: Entschließung zur Mitteilung der Kommission „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. (KOM(97)0599 - C4-0047/98)“. ABl. C 210, S.215. 1998.

Europäische Union: Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Brüssel 2003.

Euroobserver: Biofuels barometer. 2424440 tons produced in 2004 in Europe. Systeme Solaire. No.19. June 2005.

Geiger, Bernd, Franz Wittke: Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland. *BWK* 1/2, 2004, S. 41-46.

Hugosson, Björn: Biogas as a vehicle fuel. Trendsetter Report No 2003:3. Stockholm Oktober 2003.

Igelspacher, Roman; Ulrich Wagner: Bereitstellung von Ethanol aus Getreide und Zuckerrübe. Eine ganzheitliche Systemanalyse. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 54 (2004) Nr.4 S. 226-231.

IOGEN: Cellulose ethanol is ready to go. Press release. 21. April 2004. http://www.iogen.ca/news/04_21_2004.html. Zugriff am 15.7.2004.

Johansson, Thomas B.; Wim Turkenburg: Policies for renewable energy in the European Union and its member states. An overview. In: *Energy for Sustainable Development*. 8(1),2004, S. 5 – 24.

Kaltschmitt, M.; Guido Reinhard (Hrsg.): *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung.* Braunschweig, Wiesbaden 1997.

Kaltschmitt, M.; Thrän, Daniela: *Biomasse für Strom, Wärme und Kraftstoff. Was kann die Landwirtschaft zur Verfügung stellen?* Institut für Energetik und Umwelt. Leipzig 2003.

Kim, Seungdo; Dale, Bruce: *Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues.* *Journal for Biomass and Bioenergy.* 26 (2004), S. 361-375.

Leible, Ludwig; Kälber, Stefan; Kappler, Gunnar: *Entwicklung von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Kurztitel "Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung". Studie im Auftrag der DaimlerChrysler AG. Juni 2005.*

MWV. Mineralölwirtschaftsverband. Homepage. <http://www.mwv.de>. Zugriff am 28.9.2005.

Nitsch, Joachim; et al: *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FKZ 901 41 803.* Stuttgart 2004.

Scheuermann, Anne et al.: *Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes. FKZ 201 41 132.* Leipzig Dezember 2003.

Schindler, T.; W. Weindorf: *Biomasse als Basis einer neuen regionalen Energieversorgungsstruktur: Potenziale, Techniken, Kosten. 1. Aachener Anwenderforum für Bioenergienutzung in Stadt und Region. 29. April 2003. Aachen.* <http://www.eurosolar.org/new/de/downloads/SchindlerKopie.pdf>.

Schmitz, Norbert (Hrsg.): *Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkung auf Energie- und Treibhausgasbilanzen.* Münster 2005.

Specht, M.; U. Zuberbühler, A. Bandi: *Kraftstoffe aus erneuerbaren Ressourcen – Potentiale, Herstellung, Perspektiven.* Nova Acta Leopoldina NF 91, Nr. 339, S. 239. 2004.

Statistisches Jahrbuch. Wiesbaden. 2003.

Streich, P.: *Umbau von MTBE in ETBE Anlagen in Erdöl-Raffinerien. Vortrag gehalten auf der Arbeitssitzung „Biokraftstoffe“ der VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. Würzburg. 16./17.6.2004.*

Trechow, Peter: *Starke Nachfrage leert Biodiesel-Tanks. VDI-Nachrichten 20/2004, 14.5.2004. S.15.*

Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (UFOP): *Nachwachsende Rohstoffe. UFOP Bericht 2004/2005.* Berlin. 2005a.

Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (UFOP): *Wieviel Biodiesel kann produziert werden?* Homepage. <http://www.ufop.de/1228.htm>. Zugriff am 30.9.2005b.

Vogel, Alexander; et al.: *Vergasung zur Kraftstoffbereitstellung. Grundsätzliche konzeptionelle Überlegungen. In: Biomasse-Vergasung. Der Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung? Internationale Tagung. Leipzig 1./2.10.2003. FNR Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Bd. 24. Münster 2004. S. 268-297.*

Ziesing, Hans-Joachim: *CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahre 2003. Witterungsbedingte leichte Steigerung. Wochenbericht des DIW. 10/04. Berlin 2004.*