

## **Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz** Umfassende systemanalytische Untersuchung abgeschlossen und publiziert

**von Ludwig Leible, Stefan Kälber, Gunnar Kappler, E. Nieke und Beate Fürniß, ITAS**

### **1 Hintergrund**

Die seit 2004 sehr stark angestiegenen Energiepreise und der im IPCC-Bericht 2007 erneut bestätigte Anstieg der treibhausrelevanten Emissionen haben dazu geführt, dass auf EU- und nationaler Ebene ehrgeizige Ziele zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien formuliert wurden. Beispielsweise sollen in der EU bis 2020 20 % des Primärenergiebedarfs und 10 % des Kraftstoffbedarfs im Straßenverkehr durch Erneuerbare Energieträger abgedeckt werden. Hohe Erwartungen werden hierbei vor allem an die energetische Nutzung von Biomasse geknüpft. Dies führt zu einer Verschärfung der Nutzungskonkurrenz, da sowohl Wärme und Strom als auch Kraftstoff aus Biomasse gewonnen werden können.

Vor diesem Hintergrund führte das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Auftrag des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg eine systemanalytische Untersuchung zur Gaserzeugung aus Biomasse durch, deren Ergebnisse als Wissenschaftlicher Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe erschienen sind.<sup>2</sup> Bereits im TATuP-Schwerpunkt „Biogene Kraftstoffe – Kraftstoffe der Zukunft?“ des Jahres 2006 wurden Teilergebnisse der Untersuchung in Vergleich zu anderen Kraftstoffstrategien gestellt und diskutiert.<sup>3</sup>

### **2 Zielsetzung und Vorgehensweise**

Vor diesem Hintergrund wurde von ITAS eine systemanalytische Untersuchung mit der Zielsetzung durchgeführt, das vom Forschungszentrum Karlsruhe unter dem Namen bioliq<sup>®</sup> verfolgte „Biomass-to-Liquid“(BtL)-Verfahrenskonzept zur Kraftstoffherzeugung aus Biomasse in sein technisches, ökonomisches und umweltrelevantes Umfeld einzuordnen und zu bewer-

ten. Hierzu wurden die spezifischen Vorteile, aber auch die bestehenden Nachteile des Verfahrens herausgearbeitet – dargestellt für die Produktion von Fischer-Tropsch-Kraftstoff – und mit konkurrierenden Alternativen verglichen.

Als konkurrierende Verfahren wurden einerseits die Wärme- und Stromgewinnung durch direkte Verbrennung in Biomasse-Heizwerken bzw. Biomasse(heiz)kraftwerken und die Co-Verbrennung in Steinkohlekraftwerken mit berücksichtigt; dies schloss die thermochemische Vergasung zur Stromerzeugung mit ein. Andererseits wurden die auf fossilen Energieträgern (Heizöl, Import-Steinkohle, Diesel) basierenden Alternativen der Wärme-, Strom- und Kraftstoffherzeugung dargestellt, die für Vergleiche hinsichtlich Subventionsbedarf, CO<sub>2</sub>-Minderung bzw. CO<sub>2</sub>-Minderungskosten unumgänglich sind.

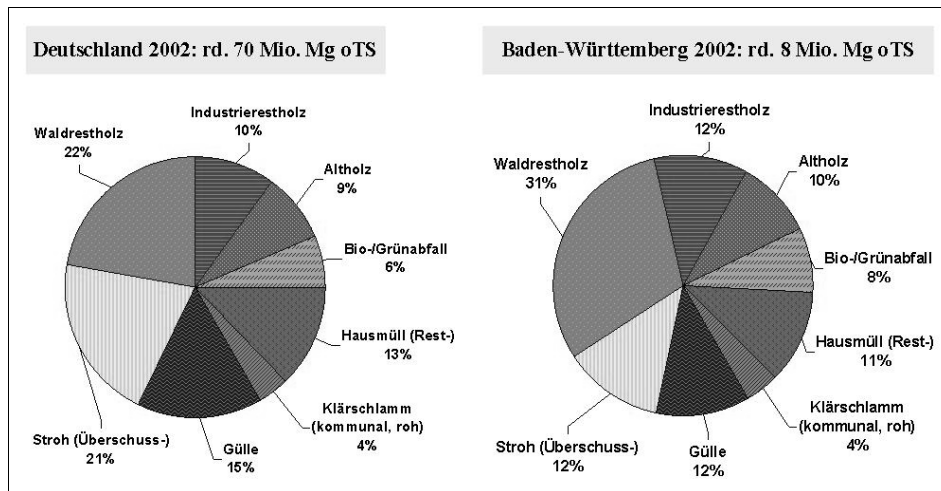
Die vergleichende Gegenüberstellung und Bewertung der Verfahren zur FT-Kraftstoff-, Strom- und Wärmebereitstellung erfolgte vor allem anhand der Kenngrößen „Gestehungskosten“, „Subventionsbedarf“, „CO<sub>2</sub>-Minderung“ bzw. „CO<sub>2</sub>-Minderungskosten“. Dies mündete in der Studie in der Ableitung einiger wesentlicher Schlussfolgerungen.

### **3 Biomasseaufkommen zur energetischen Nutzung**

Das jährliche Aufkommen der in dieser Studie näher betrachteten Biomaseträger Stroh und Waldrestholz lässt sich hinsichtlich des Potenzials am besten einordnen, wenn man es in Vergleich setzt zu weiteren biogenen Rest- und Abfallstoffen, die ebenfalls für eine energetische Nutzung in Frage kommen (vgl. Abb. 1). Darüber hinaus ist es für die Einordnung wichtig, in welchem Umfang diese biogenen Rest- und Abfallstoffe insgesamt zur Deckung des Primärenergiebedarfs beitragen könnten.

In Deutschland beträgt das jährlich verfügbare Aufkommen an biogenen Reststoffen und Abfällen (Basis: 2002), das energetisch genutzt werden könnte, rd. 70 Millionen Tonnen (bzw. Megagramm) organische Trockensubstanz (oTS); in Baden-Württemberg sind dies rd. 8 Millionen Tonnen (s. Abb. 1). Betrachtet man die Aufschlüsselung des Aufkommens, so wird deutlich, dass dieses mengenmäßig insbesondere durch die Land- und

**Abb. 1: Aufkommen an Stroh und Waldrestholz im Vergleich zu anderen biogenen Rest- und Abfallstoffen in Deutschland und Baden-Württemberg**



Quelle: Eigene Darstellung

Forstwirtschaft bestimmt wird. Auf Bundesebene tragen Stroh und Waldrestholz mit 21 % bzw. 22 % zu diesem für eine energetische Nutzung verfügbaren Aufkommen bei; in Baden-Württemberg sind dies 12 % bzw. 31 %.

Das angeführte Aufkommen von 70 Millionen Tonnen pro Jahr entspricht einem jährlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 0,85 Tonnen bzw. einem Heizwert von rd. 420 Liter Heizöl und entspricht damit rd. 9 % des deutschen Primärenergiebedarfs. Darüber hinaus sind weitere biogene Rest- und Abfallstoffe verfügbar (z. B. Landschaftspflegegut), so dass sich dieser relative Anteil auf über 11 % erhöht. Mit dieser Perspektive ist das angeführte Potenzial an biogenen Rest- und Abfallstoffen für eine energetische Nutzung keinesfalls als gering einzustufen. Nach Abschätzungen für das Jahr 2006 deckten Biomasse und biogene Rest- und Abfallstoffe in Deutschland rund 3,7 % des Primärenergiebedarfs ab. Zur Information: Insgesamt trugen 2006 Erneuerbare Energieträger (einschließlich Wasser- und Windkraft) 5,3 % zur Energieversorgung in Deutschland bei.

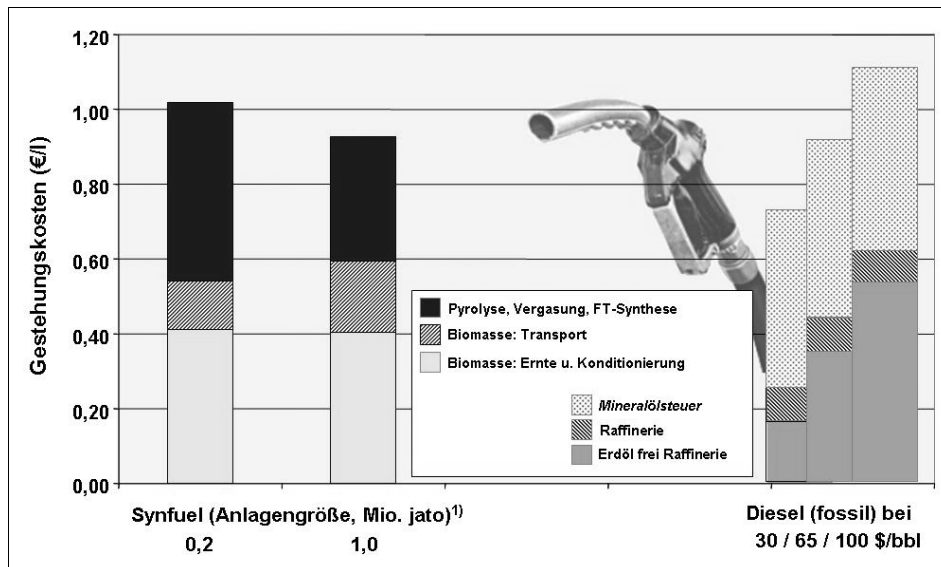
#### 4 Kosten der Kraftstoffbereitstellung

Mit Blick auf die energetische Nutzung von Stroh und Waldrestholz zur FT-Kraftstoffproduktion kann nach den derzeitigen Abschätzungen keine einheitliche ökonomische Präferenz für das untersuchte dezentrale oder für das integrierte zweistufige BtL-Konzept des Forschungs-

zentrums getroffen werden. Beim dezentralen Konzept wird die Biomasse in dezentralen Pyrolyseanlagen zu Slurry – eine Mischung aus Pyrolyseöl und Pyrolysekoks – aufgearbeitet und anschließend zu einer zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage zur weiteren Verarbeitung transportiert. Beim integrierten Konzept finden die beiden angeführten Verfahrensschritte in einer zentralen Anlage statt. Im Falle von Stroh schneidet aufgrund der höheren Transportkosten (geringe Transportdichte der Strohballen) und des bereits hohen Gehalts an Trockensubstanz (86 % TS) das dezentrale Konzept ab einer Anlagengröße der zentralen Vergasungs-/Syntheseanlage von 4.000 MW<sub>in</sub> ökonomisch günstiger ab. Beim relativ feuchten Waldrestholz (50 % TS) stellt sich dagegen das integrierte Konzept ökonomisch vorteilhafter dar, da hier die Abwärme der zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage kostengünstig zur Trocknung des Holzes eingesetzt werden kann.

Die ökonomischen Abschätzungen (vgl. Abb. 2) zeigen, dass FT-Kraftstoff („Synfuel“) bei der gemeinsamen Nutzung von Stroh und Waldrestholz zu Kosten von unter einem Euro pro Liter frei Anlage bereitgestellt werden könnte. Dabei wurde nach zwei Anlagengrößen mit einer Produktion von 0,2 bzw. 1,0 Mio. Jahrestonnen (jato) unterschieden. Zum Vergleich: Bei den hierzu in Konkurrenz stehenden Erdöl-Raffinerien muss eher von 10 Mio. jato an Kraftstoffproduktion ausgegangen werden. Je nach Anlagengröße könnte der FT-Kraftstoff

**Abb. 2: Gesteungskosten von FT-Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz – ein Vergleich mit fossilem Diesel**



1) Abschätzungen für Synfuel aus Stroh und Waldrestholz, zentrale Anlage; Kostenan-gaben frei Anlage, vor Steuern

Quelle: Eigene Darstellung

– ohne Berücksichtigung der Mineralölsteuer – für rd. 1,00 € bzw. 0,90 € pro Liter frei Anlage bereitgestellt werden. Bei einem Rohölpreis von 65 \$/bbl liegen bei Diesel die vergleichbaren Bereitstellungskosten frei Raffinerie bei rd. 0,45 €/l und sind somit nur halb so teuer. Erst durch die Berücksichtigung der Mineralölsteuer wird beim Diesel das für FT-Kraftstoff angeführte Kostenniveau von rd. 0,90 €/l erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Verzicht auf die Mineralölsteuer erst ab einem Rohölpreis von 65 \$/bbl ausreichend ist, um den Wettbewerbsnachteil des FT-Kraftstoffs gegenüber Diesel (fossil) vollständig auszugleichen. Ganz ohne Subventionen käme die Kraftstoffbereitstellung aus Stroh und Waldrestholz erst ab einem Rohölpreis von rd. 130 \$/bbl aus. Zum Vergleich: derzeit liegt der Preis bei rd. 80 \$/bbl.

Die Biomassebereitstellung trägt – je nach Anlagengröße und Biomasseträger – 50-65 % zu den Kosten des FT-Kraftstoffs bei; folglich lassen sich hier über preiswerte Biomasseträger am ehesten die Kosten reduzieren. Insbesondere optimierte Logistikkonzepte zu Erfassung und Transport könnten wesentlich zur Kostenreduktion beitragen. Dass eine verstärkte Nachfrage nach Biomasse zu deut-

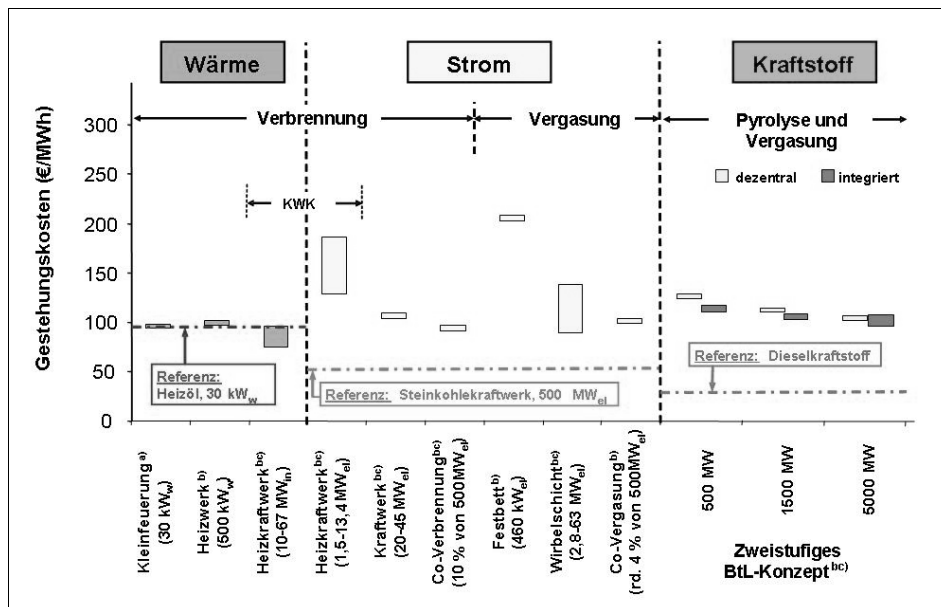
lich höheren Biomassekosten führen kann, zeigten beispielhaft die Preisentwicklungen auf dem Holzmarkt in Deutschland im Jahr 2006 oder die aktuellen starken Preissteigerungen auf den Agrarmärkten.

## 5 Kraftstoffherzeugung im Vergleich mit Wärme- und Strombereitstellung

Beim Vergleich der Kraftstoffherzeugung mit der Wärme- und Stromgewinnung aus Stroh und Waldrestholz wird deutlich, dass diese Alternativen näher an der Wettbewerbsfähigkeit sind bzw. diese bereits erreicht haben (vgl. Abb. 3). So zeigen die Ergebnisse, dass die Wärmebereitstellung bereits heute in der Regel nahezu ohne Subventionen auskommt. Ein Beleg hierfür ist die verstärkte energetische Nutzung von Holz im Wärmesektor.

Ausgehend von dem bestehenden Subventionsbedarf bei der Kraftstoffbereitstellung aus Stroh und Waldrestholz gegenüber Dieselmotorkraftstoff (vgl. Referenz-Linie in Abb. 3) und der realisierbaren CO<sub>2</sub>-Minderung resultieren bei der Produktion von FT-Kraftstoff CO<sub>2</sub>-Minderungskosten, die deutlich über 200 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalent liegen. Bei der Verstromung liegen diese – mit Ausnahme der Festbettvergasung –

Abb. 3: Gesteungskosten bei Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz



- a) Industrierestholz (Pellets, 92 % TS)  
 b) Waldrestholz (HS, 50 % TS)  
 c) Stroh (Quaderballen, 86 % TS)

Quelle: Eigene Darstellung

unter 100 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äq. Am günstigsten lässt sich die CO<sub>2</sub>-Minderung über die Wärmebereitstellung aus Biomasse realisieren – hier fallen nahezu keine bzw. sogar negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten an.

## 6 Fazit

Die Abschätzungen zu den CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verdeutlichen, dass die CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie nur ein sehr schwaches Argument für die Forcierung der Aktivitäten zur Bereitstellung von FT-Kraftstoffen aus Biomasse darstellen kann. Bei ausschließlichen Vergleich innerhalb des Sektors Verkehr stellt sich diese Variante jedoch – verglichen mit anderen technischen Varianten der CO<sub>2</sub>-Minderung – nicht unattraktiv dar. Da das BtL-Konzept des Forschungszentrums Karlsruhe über die Pyrolyse und Vergasung jedoch Wege eröffnet, die Biomasse – als Kohlenstoffträger – einer weitergehenden chemischen Nutzung zuzuführen, sollte dieser Entwicklungsweg weiter beschritten werden. Dies schließt eine gekoppelte chemisch/energetische Nutzung im Sinne eines „Biorefinery“-Konzepts mit ein.

## Anmerkungen

- 1) Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P. et al. (eds.), 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK
- 2) Die Projekt-Homepage kann unter folgendem Link abgerufen werden <http://www.itas.fzk.de/deu/projekt/leib0218.htm>.
- 3) Leible, L.; Kälber, S.; Nieke, E. et al. (Hg.), 2006: Biogene Kraftstoffe – Kraftstoffe der Zukunft? Themenschwerpunkt Heft 15/1 (2006) der Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“

## Literatur

Leible, L.; Kälber, S.; Kappler, G. et al., 2007: Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – eine systemanalytische Untersuchung. Karlsruhe: Wissenschaftliche Berichte des Forschungszentrums Karlsruhe, FZKA 7170. Online verfügbar unter: <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/leua07a.pdf>

## Kontakt

Dr. Ludwig Leible  
 ITAS im Forschungszentrum Karlsruhe  
 Postfach 3640, 76021 Karlsruhe  
 E-Mail: [leible@itas.fzk.de](mailto:leible@itas.fzk.de)

«