



Energiebereitstellung aus Stroh und Waldrestholz

Als nachwachsende Energieträger bieten Stroh und Waldrestholz ein großes Potenzial zur Kraftstoff-, Strom- und Wärmebereitstellung. Ein Vorteil dieser biogenen Reststoffe ist, dass sie in keiner Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen. Der Beitrag fasst die wesentlichen Ergebnisse einer Untersuchung zu den Chancen einer energetischen Biomassenutzung auf Basis eines am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten Verfahrens zur Kraftstoffgewinnung zusammen.

Aktuelle politische Ziele und Vorgaben auf europäischer Ebene, wie die EU-Biokraftstoffrichtlinie, der EU-Aktionsplan für Biomasse oder die Anfang 2007 vorgestellten Konzepte für eine europäische Energiepolitik, zielen ebenso wie auf der nationalen Ebene das Erneuerbare-Energien-Gesetz darauf ab, die Beiträge erneuerbarer Energien

zur Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung deutlich zu erhöhen [1; 2]. Hierbei werden hohe Erwartungen vor allem an die energetische Nutzung von Biomasse bzw. biogener Reststoffe geknüpft, zu denen Stroh und Waldrestholz zu zählen sind. Zur Gewährleistung einer nachhaltigen, sicheren und bezahlbaren Energieversorgung hat sich

die europäische Energiepolitik folgende Ziele gesetzt:

- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 12 % des gesamten Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2010 bzw. auf 20 % bis 2020;
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 21 % der gesamten Stromproduktion bis zum Jahr 2010;

Autoren

Dr. **Ludwig Leible**, Jahrgang 1955, Studium der Agrarwissenschaften in Gießen und Stuttgart-Hohenheim mit Promotion, seit 1988 Mitarbeiter des Forschungszentrums Karlsruhe am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.

ludwig.leible@itas.fzk.de

Dipl.-Ing. **Stefan Kälber**, Jahrgang 1967, Studium des Chemieingenieurwesens in

Karlsruhe und des Wirtschaftsingenieurwesens in Pforzheim, seit 2001 Mitarbeiter des Forschungszentrums Karlsruhe am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.

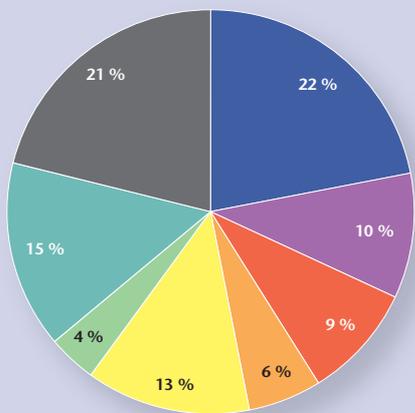
Dipl.-Ing. **Gunnar Kappler**, Jahrgang 1970, Studium des Wirtschaftsingenieurwesens in Esslingen und der Umweltwissenschaften in Jena, seit 2003 Mitarbeiter

des Forschungszentrums Karlsruhe am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.

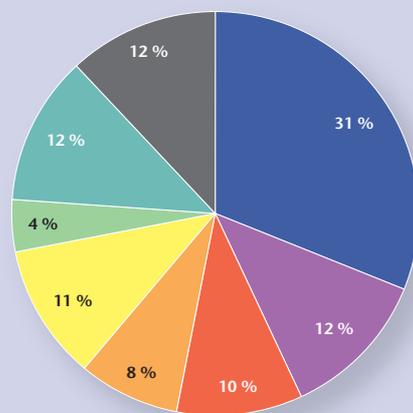
Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum (MLR) des Landes Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung bei der Durchführung dieser Untersuchungen.

Deutschland im Jahr 2002: ≈ 70 Mio. t oTS



Baden-Württemberg im Jahr 2002: ≈ 8 Mio. t oTS



Eine einfache Abschätzung ergibt:

Dieses Aufkommen entspricht rund 9 % des Primärenergiebedarfs in Deutschland und Baden-Württemberg. Im Jahr 2006 deckte Biomasse (inklusive biogener Rest- und Abfallstoffe) in Deutschland rund 3,7 % des Primärenergiebedarfs ab.

oTS = organische Trockensubstanz 1) kommunal, roh 2) Überschusstroh

- Erhöhung des Biokraftstoffanteils im Kraftstoffmarkt auf 5,75 % bis zum Jahr 2010 bzw. 10 % bis 2020;
- Reduzierung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Bezugsjahr 1990 um 8 % bis zum Jahr 2010 bzw. um mindestens 20 % bis 2020.

Mit Blick auf den Einsatz von Biokraftstoffen war im Jahr 2005 in der EU-25 ein Anteil von 1 % zu verzeichnen bzw. im Jahr 2006 in Deutschland ein Anteil von 6,6 %. Soll die ehrgeizige Zielsetzung der EU-Kommission erreicht werden, den Biokraftstoffbeitrag zur Kraftstoffversorgung

Bild 1

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



bis 2020 auf 10 % zu erhöhen, so müssen hierzu – besonders mit Blick auf die jüngsten Preissteigerungen auf den Weltmärkten für Lebensmittel und Agrarrohstoffe – künftig auch verstärkt Lignozelluloseträger wie Waldrestholz oder Stroh herangezogen werden.

Im Folgenden wird auf der Basis des insgesamt verfügbaren Aufkommens an biogenen Rest- und Abfallstoffen dargestellt, welche energetisch nutzbaren Potenziale an Stroh und Waldrestholz in Deutschland und Baden-Württemberg zur Verfügung stehen. Der gezielte Anbau von Energiepflanzen wird hierbei nicht betrachtet. Anschließend wird am Beispiel Baden-Württembergs in starker regionaler Differenzierung illustriert, welche Bedeutung der Biomasselogistik zuzumessen ist, insbesondere für große Anlagen. Am Beispiel des in Karlsruhe entwickelten Bioliq-Verfahrenskonzepts werden relevante Kenngrößen für die

Bild 2

Landnutzung und Einzugsbereiche von zwei Standorten in Baden-Württemberg: Nord (Heilbronn) und Süd (Sigmaringen).

Standort Nord	Biomasseaufkommen [t TS/a]			Kosten ¹⁾ [€/t TS]	
	Radius	Stroh	Waldrestholz		Summe
	15 km	43 000	18 000	61 000	72
	40 km	235 000	192 000	427 000	82
	50 km	334 000	335 000	669 000	84
	60 km	469 000	500 000	969 000	86
Standort Süd					
	15 km	29 000	42 000	71 000	73
	40 km	140 000	240 000	380 000	81
	50 km	213 000	345 000	558 000	84
	60 km	309 000	463 000	772 000	86

TS: Trockensubstanz ¹⁾ gewichtet

Tabelle

Aufkommen und Bereitstellungskosten von Stroh und Waldrestholz für zwei Standorte in Baden-Württemberg.

restholz und Stroh gibt es allerdings deutliche Unterschiede: Im waldreichen Baden-Württemberg trägt Waldrestholz mit rund 31 % zum Gesamtaufkommen bei, Stroh jedoch nur mit 12 %. Deutschlandweit betragen diese Anteile jedoch 22 % (Waldrestholz) und 21 % (Stroh).

Das Gesamtaufkommen organischer Trockensubstanz von rund 70 Mio. t/a in Deutschland entspricht umgerechnet einem jährlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 0,85 t oTS oder 420 Liter Heizöl. Mit diesem Aufkommen könnten rund 9 % des jährlichen Primärenergieverbrauchs gedeckt werden. Zur Einordnung: 2006 trugen Biomasse sowie biogene Rest- und Abfallstoffe in Deutschland mit rund 3,7 % zur Deckung der Primärenergie nachfrage bei.

Nach dieser Abschätzung der jährlich verfügbaren Gesamtpotenziale an Stroh und Waldrestholz soll im Folgenden am Beispiel zweier Standorte in Baden-Württemberg erläutert werden, welche logistischen Herausforderungen mit der Bereitstellung von Biomasse verbunden sind.

Logistische Herausforderungen

Mit Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg bezüglich des verfügbaren Aufkommens an Stroh und Waldrestholz und der Verkehrsinfrastruktur wurde die Realisierbarkeit einer regionalen Biomasseversorgung untersucht. Hierbei stand die Frage nach den Kosten für eine Versorgung von zwei Großanlagen mit einer Jahreskapazität von jeweils 1 Mio. t Trockensubstanz im Mittelpunkt. Im **Bild 2** sind die untersuchten Anlagenstandorte Nord (Heilbronn) und Süd (Sigmaringen) hinsichtlich Lage, Landnutzung und Einzugsbereiche dargestellt. Der **Tabelle** ist zu entnehmen, welches Aufkommen an Stroh und Waldrestholz sich an beiden Anlagenstandorten zu welchen Kosten in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebiets erschließen lässt. Analysen für die Anlagenstandorte unter Einsatz eines geografischen Informationssystems ergaben, dass ein Erfas-

Produktion von synthetischen Fischer-Tropsch-Kraftstoffen aus Stroh und Waldrestholz vorgestellt. Die daraus ableitbaren Gesteigungs- und CO₂-Minderungskosten des Verfahrens werden mit denen alternativer Optionen zur Wärme- und/oder Stromgewinnung aus biogenen Reststoffen verglichen und bewertet [3].

Potenziale energetisch nutzbarer biogener Rest- und Abfallstoffe

Das jährliche Gesamtpotenzial energetisch nutzbarer biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland und Baden-Württemberg ist im **Bild 1** dargestellt. Deutschlandweit sind demnach pro Jahr rund 70 Mio. t organischer Trockensubstanz¹⁾ verfügbar, von denen etwa 11 % auf Baden-Württemberg entfallen. Das Aufkommen energetisch nutzbarer Rest- und Abfallstoffe wird durch die Land-

und Forstwirtschaft bestimmt. In Deutschland tragen Stroh, Waldrestholz und Gülle mit zusammen rund 58 % zum Gesamtaufkommen bei, in Baden-Württemberg mit etwa 55 %. Gemäß **Bild 1** steht deutschlandweit für eine energetische Nutzung ein jährliches Aufkommen an Stroh und Waldrestholz von etwa 30 Mio. t oTS zur Verfügung. Dies entspricht rund 43 % des Gesamtaufkommens. In Baden-Württemberg ist nach **Bild 1** ein Stroh- und Waldrestholzaufkommen von etwa 3,5 Mio. t oTS zu erwarten. Dies entspricht umgerechnet 43 % des dortigen Gesamtaufkommens. Bei den relativen Beiträgen von Wald-

¹⁾ Die organische Trockensubstanz (oTS) eines Stoffes umfasst seine organischen Bestandteile, die nach vollständigem Entzug von Wasser und mineralischen Bestandteilen verbleiben (wasser- und aschefrei).

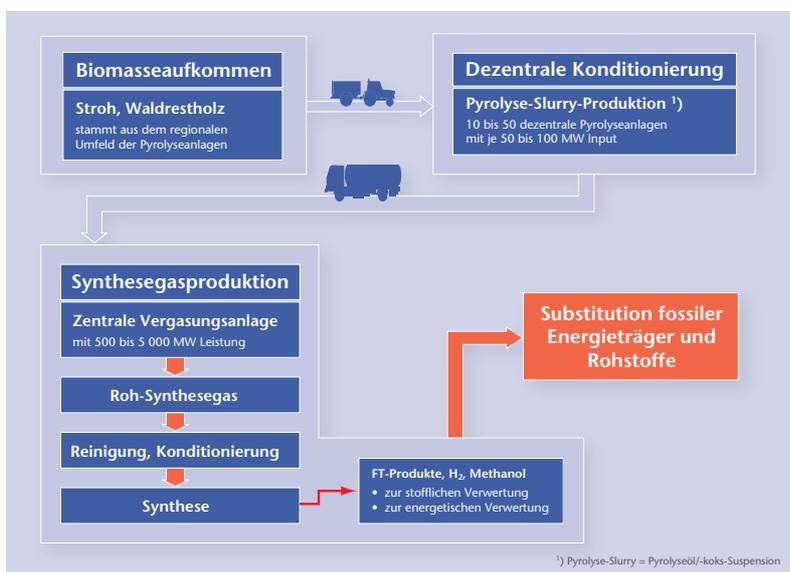


Bild 3

Zweistufiges Bioliq-Verfahrenskonzept zur Synthesegas- bzw. Kraftstoffherzeugung aus Stroh und Waldrestholz.

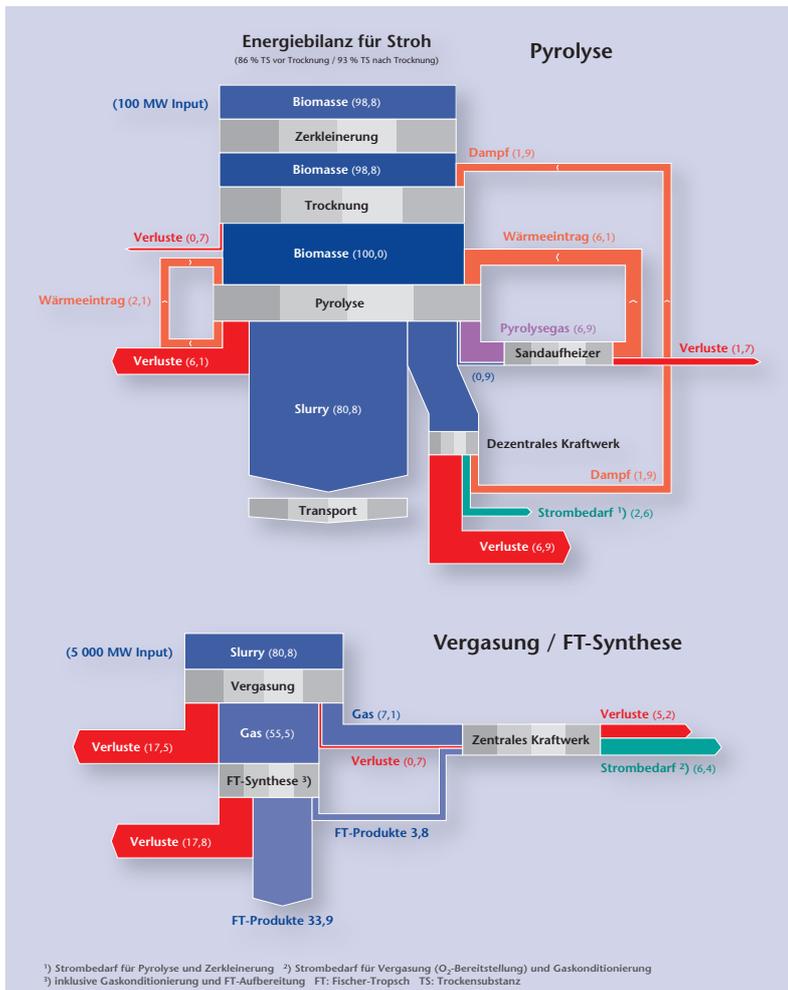


Bild 4

Energiebilanz zur Kraftstoffbereitstellung aus Stroh bei dezentraler Schnellpyrolyse mit anschließender zentraler Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese.

ruhe mit seinem Bioliq-Konzept, einem zweistufigen Biomass-to-Liquid-Verfahren (Bild 3), das Ziel, aschereiche Biomasse wie Getreidestroh oder Waldrestholz per Schnellpyrolyse, Vergasung und Synthese zur Herstellung von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen oder anderen Produkten für chemische Anwendungen zu erschließen. Innerhalb dieses Konzepts ist eine teilweise Verstromung oder Wärmegewinnung nicht ausgeschlossen. Die Synthese konzentriert sich hierbei auf die Gewinnung von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen, ist aber auch für zahlreiche andere Produkte (z. B. Methanol) offen. Je nach Produkt muss die Synthese bei unterschiedlichen Drücken durchgeführt werden. Für Fischer-Tropsch-Kraftstoffe sind beispielsweise Drücke von 20 bis 40 bar erforderlich und für Methanol Drücke bis 80 bar. Vor diesem Hintergrund lautet das Ziel, bereits mit der Vergasung das für die nachgeschaltete Synthese erforderliche Druckniveau zu erreichen und auch die Gasreinigung und -konditionierung auf dieser Druckstufe zu realisieren. Hierdurch wird der mit erheblichem Energieaufwand verbundene Schritt der Gaskompression vor der Synthese vermieden. Darüber hinaus gilt es, ein teerfreies, methanarmes Synthesegas zu gewinnen. Diese Anforderungen können mit einem Flugstromdruckvergaser bei Vergasungstemperaturen oberhalb von 1 000 °C erfüllt werden, wie Testreihen in einer externen Versuchsanlage in Freiberg belegen. Die

sungsradius von 60 bis 70 km ausreichend sein dürfte, um den Jahresbedarf von 1 Mio. t TS Stroh und Waldrestholz bei Bereitstellungskosten frei Anlage von 80 bis 90 €/t TS gewährleisten zu können.

Das Bioliq-Verfahren

Vor dem Hintergrund der politischen Forderungen nach einem Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse verfolgt das Forschungszentrum Karls-

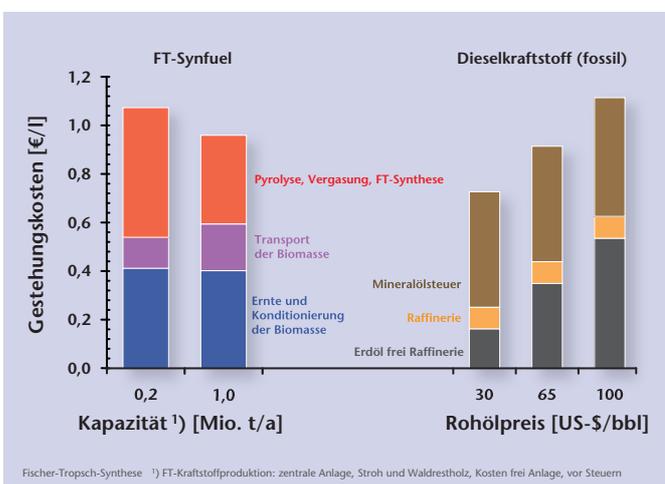


Bild 5

Gestehungskosten von Fischer-Tropsch-Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz – ein Vergleich mit fossilem Diesel.

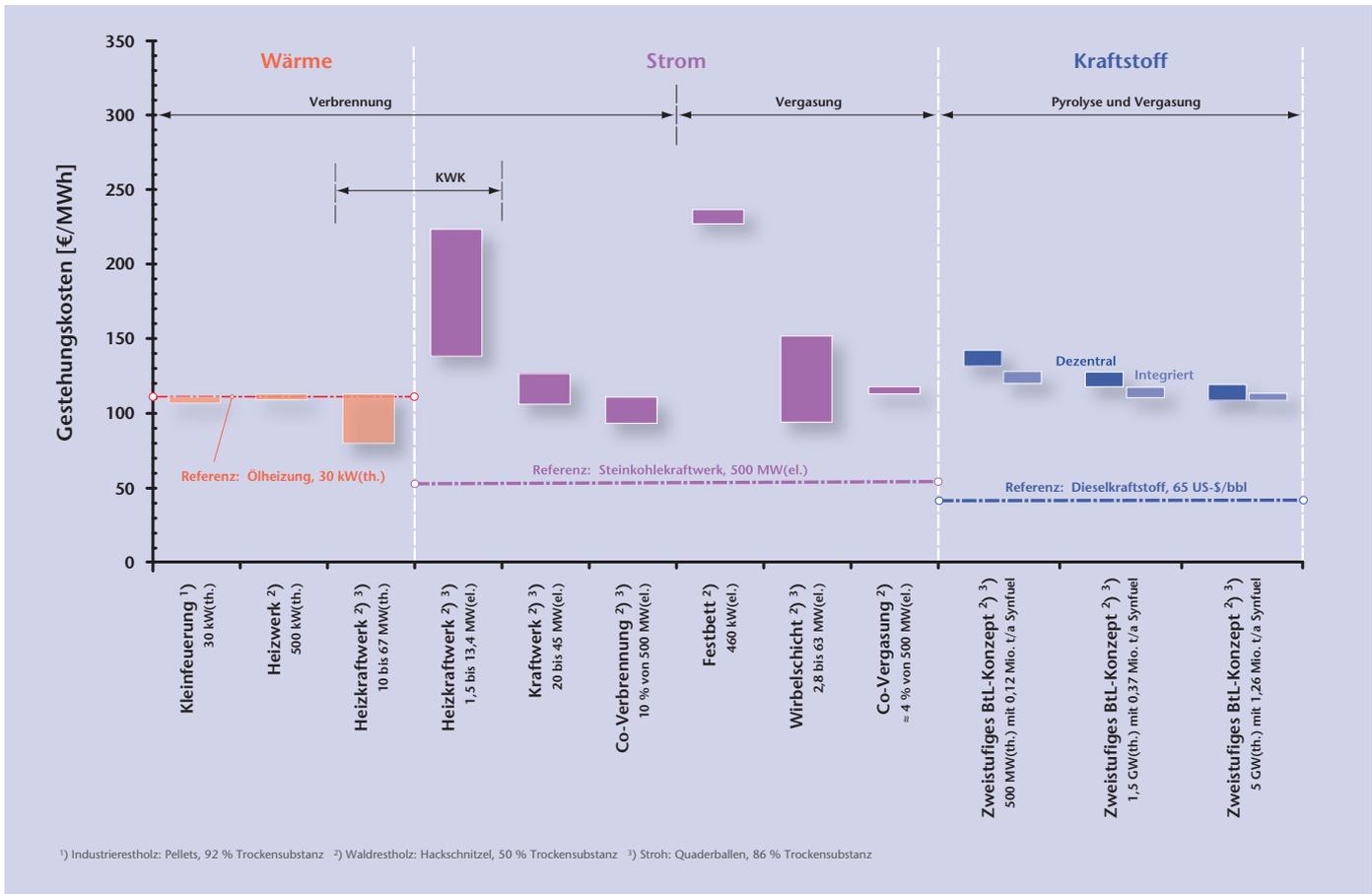


Bild 6

Gestehungskosten für die Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung aus Stroh und Waldrestholz.

Biomasse muss für den Einsatz im Flugstromdruckvergaser konditioniert werden. Bei den erforderlichen Drücken ist dies nur über eine pumpbare Suspension (Slurry) aus Pyrolysekondensat und -koks sinnvoll umzusetzen. Folglich ist das vom Forschungszentrum Karlsruhe verfolgte Schnellpyrolyseverfahren zur Herstellung einer solchen Suspension von zentraler Bedeutung. Die Schnellpyrolyse lässt sich in dezentralen Anlagen durchführen oder kann alternativ in einer zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage als Verfahrensschritt integriert sein.

Mit der räumlichen Entkopplung der Schnellpyrolyse von der Vergasung und Synthese ist eine von der Kapazität der Vergasungs- und Syntheseanlage unabhängige dezentrale Slurry-Produktion realisierbar. Mit Slurry-Transporten zu

einer zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage lassen sich logistische Vorteile erschließen, denn im Vergleich zu Strohballen hat die Suspension (Slurry) eine um den Faktor 10 höhere volumetrische Energiedichte. Aufgrund dieser zu erwartenden Transportvorteile ist hier ein Vergleich von dezentraler und integrierter Schnellpyrolyse von Interesse. Zur Veranschaulichung des Gesamtprozesses wird nachfolgend zunächst am Beispiel Stroh die Energiebilanz für die Gewinnung von Fischer-Tropsch-Kraftstoff dargestellt.

Energiebilanz einer Bereitstellung von Kraftstoff aus Stroh

In Bild 4 ist exemplarisch die Energiebilanz zur Bereitstellung von Kraftstoff aus Stroh nach dem Bioliq-Konzept dar-

gestellt. Bei dieser Darstellung handelt es sich um vereinfachte Abschätzungen für Verfahrensabläufe, die in der Praxis wesentlich komplexer verschaltet sind. Das Hauptaugenmerk galt hierbei der Schnellpyrolyse und Vergasung, während die Gaskonditionierung, Fischer-Tropsch-Synthese und Kraftstoffaufarbeitung lediglich mit Basisdaten behandelt werden konnten.

Für die dezentrale Pyrolyseanlage, die mit einem Sanderhitzer und einem dezentralen Kraftwerk mit Dampferzeuger ausgestattet ist, wird von einer Brennstoff-Eingangsleistung von 100 MW(th.) ausgegangen. Die Slurry-Vergasung und die Fischer-Tropsch-Synthese werden in einer zentralen Großanlage mit 5 GW thermischer Leistung durchgeführt. Eine wesentliche Annahme der dargestellten Abschätzungen besteht darin, dass die

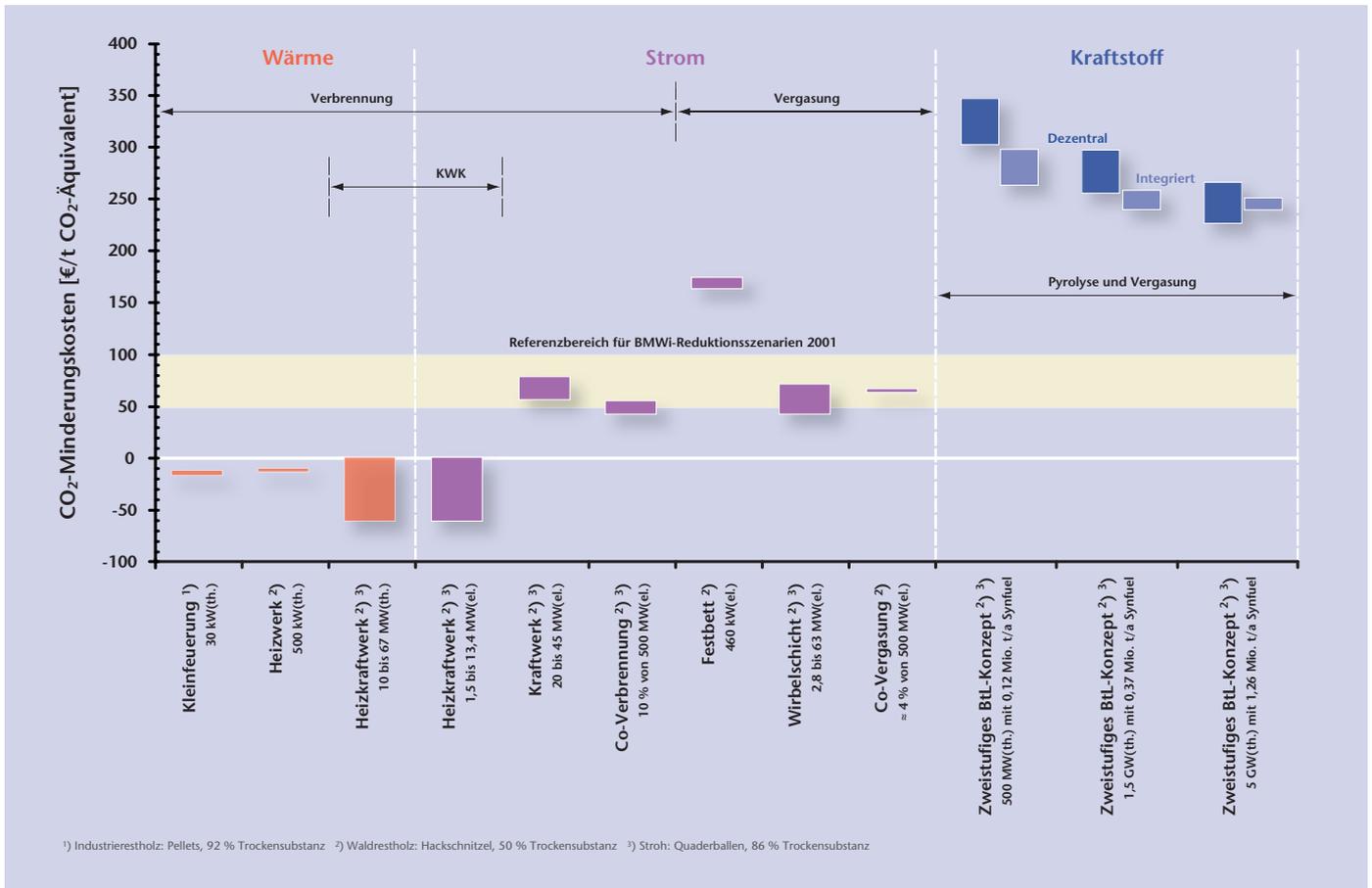


Bild 7

CO₂-Minderungskosten der Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung aus Stroh und Waldrestholz.

Anlagen energieautark arbeiten und somit kein Zukauf von Strom und Dampf aus fossilen Energieträgern erfolgt. Auch der Energieaufwand zur Sauerstoffbereitstellung bei der Vergasung muss von der Großanlage gedeckt werden.

Der Energiebedarf des Sanderhitzers wird durch energetische Nutzung von prozessintern erzeugtem nichtkondensierbarem Pyrolysegas und zusätzlich durch geringe Slurry-Mengen gedeckt. Die Kraftwerke für die Versorgung der Schnellpyrolyseanlagen mit Elektrizität und Dampf zur Strohtrocknung nutzen Slurry als Brennstoff. Das Abgas aus der Pyrolyse wird über Wärmetauscher geführt und dient zur Aufheizung der im Sanderhitzer benötigten Luft und der für die Verbrennung bestimmten nichtkondensierbaren Pyrolysegase. Das für die Energieversorgung der zentralen Ver-

gasungs- und Syntheseanlage benötigte Kraftwerk bezieht seinen Brennstoff aus dem Vergasungsprozess und zu etwa 10 Gew.-% aus den gewonnenen Fischer-Tropsch-Produkten.

In der dargestellten Energiebilanz sind der Energieaufwand für die Biomassebereitstellung (Erfassung und Transport) und die Slurry-Transporte noch nicht berücksichtigt. Abschätzungen zeigen, dass ungefähr 5 bis 8 % des Kraftstoffes zur Deckung dieses Energiebedarfs ausreichen dürften. Eine Massenbilanz zeigt ferner, dass pro Tonne Fischer-Tropsch-Produkt rund 9 t Stroh (86 % TS) benötigt werden. Der Energieaufwand für die Strohtrocknung von 86 auf 93 % TS mit Dampf liegt pro 100 MWh getrocknete Biomasse bei rund 2 MWh. Als Energieträger für den Trocknungsprozess wird Slurry aus der Schnellpyrolyse heran-

gezogen. Der Strombedarf der dezentralen Pyrolyseanlage beträgt für 100 MWh Biomasse (93 % TS) etwas mehr als 3 MWh.

Für die Sanderhitzung werden die bei der Schnellpyrolyse entstehenden, nicht kondensierbaren Pyrolysegase und geringe Mengen an Slurry benötigt. Auf die Masse bezogen können nach der Schnellpyrolyse von anfänglichen 100 % des getrockneten Strohs 69 % als Slurry der Vergasung in einer zentralen Großanlage zugeführt werden. Für die Bereitstellung des Sauerstoffes bei der Vergasung besteht ein Bedarf an elektrischer Energie von rund 6 MWh, bezogen auf 100 MWh getrocknete Biomasse.

Auf den Heizwert bezogen weist die Energiebilanz für die Fischer-Tropsch-Kraftstoffbereitstellung aus Stroh einen Netto-Wirkungsgrad von rund 34 % aus,

jeweils bemessen am Biomasseeinsatz nach der Trocknung auf 93 % TS und am erzielten Ertrag an Fischer-Tropsch-Produkten, die der Anlage entnommen werden können.

Wie das Bild 4 verdeutlicht, treten im Verlauf des Prozesses die größten Verluste bei der Vergasung und der Fischer-Tropsch-Synthese auf. Hier gilt es zu überprüfen, wie in der Praxis durch eine verbesserte Nutzung der Abwärme der Netto-Wirkungsgrad weiter optimiert werden kann.

Kosten der Kraftstoffproduktion

Nach den derzeitigen Abschätzungen lässt sich keine einheitliche ökonomische Präferenz für das dezentrale oder das integrierte zweistufige Biomass-to-Liquid-Konzept treffen. Beim Eingangsstoff Stroh schneidet das dezentrale Konzept ab Leistungsgrößen der zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage von 4 GW(th.) ökonomisch günstiger ab als das integrierte Konzept, da die Transportkosten angesichts der geringen Transportdichte von Strohballen sehr hoch sind. Bei relativ feuchtem (50 % TS) Waldrestholz ist das integrierte Konzept ökonomisch vorteilhafter, da hier die Abwärme der zentralen Vergasungs- und Syntheseanlage kostengünstig zur Trocknung des Holzes eingesetzt werden kann. Die ökonomischen Abschätzungen zeigen ferner (Bild 5), dass der Fischer-Tropsch-Kraftstoff bei gemeinsamer Nutzung von Stroh und Waldrestholz ohne Berücksichtigung der Mineralölsteuer bei einer Anlage mit 0,2 Mio. t/a Produktionskapazität für rund 1,10 € bzw. bei einer um das Fünffache größeren Anlage für rund 0,95 € pro Liter frei Anlage bereitgestellt werden könnte.

Zum Vergleich: Bei Erdöl-Raffinerien ist eher von einer Produktionskapazität von 10 Mio. t/a auszugehen. Bei einem Rohölpreis von 65 US-\$/bbl liegen die Bereitstellungskosten frei Raffinerie für Dieselkraftstoff bei rund 0,45 € pro Liter. Erst mit Berücksichtigung der Mineralölsteuer wird bei Dieselkraftstoff das für einen Liter Fischer-Tropsch-Kraftstoff errechnete Kostenniveau von 0,95 € erreicht. Diese Ergebnisse zeigen, dass der Verzicht auf die Mineralölsteuer erst ab einem Rohölpreis von etwa 65 US-\$/bbl ausreichend hoch wäre, um den Wettbewerbsnachteil des synthetischen Kraftstoffes gegenüber fossilem Dieselkraft-

stoff vollständig auszugleichen. Vollständig ohne jede Subvention käme eine Kraftstoffbereitstellung aus Stroh und Waldrestholz erst ab einem Rohölpreis von 130 bis 140 US-\$/bbl aus.

Inzwischen hat der Rohölpreis die Marke von 120 US-\$/bbl überschritten, so dass ein dauerhaftes Preisniveau von 130 US-\$/bbl oder mehr in den nächsten Jahren durchaus wahrscheinlich werden könnte.

Die Biomassebereitstellung trägt je nach Anlagengröße und Biomasseträger mit 50 bis 65 % zu den Kosten des synthetischen Kraftstoffes bei (Bild 5). Folglich lassen sich über preiswerte Biomasseträger am ehesten Kosten reduzieren. Auch optimierte Logistikkonzepte könnten wesentlich zur Kostenreduktion beitragen. In Ländern mit sehr preiswerter Biomasse könnte folglich die Schwelle zur Wettbewerbsfähigkeit deutlich früher als in Deutschland erreicht werden.

Kostenvergleich der Wärme-, Strom- und Kraftstoffproduktion

Als konkurrierende Nutzungsoptionen wurde im Rahmen der Untersuchung die Wärme- und Strombereitstellung durch Verbrennung von Stroh und Waldrestholz in Biomasseheizwerken bzw. Biomasse(heiz)kraftwerken und eine Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken berücksichtigt. Dies schloss eine thermochemische Vergasung zur Stromerzeugung ein. Ferner wurden die auf den fossilen Energieträgern Rohöl und Importsteinkohle basierenden Alternativen der Wärme-, Strom- und Kraftstoffherzeugung dargestellt. Die hierbei zugrunde gelegten Energiepreise entsprechen den Durchschnittswerten für das Jahr 2006, in dem beispielsweise der Rohölpreis bei 65 US-\$/bbl lag.

Im Bild 6 sind die Wärme-, Strom- und Kraftstoffgestehungskosten für die betrachteten Verfahren gegenübergestellt. Beim Kraftstoff entspricht eine MWh in etwa dem Heizwert von 100 l Kraftstoff. Als Referenzwerte fungierten hierbei

- die Wärmegestehungskosten für eine Kleinf Feuerung auf Heizölbasis in Höhe von rund 110 €/MWh,
- die Stromgestehungskosten für ein 500-MW-Steinkohlekraftwerk in Höhe von rund 52 €/MWh und
- die Bereitstellungskosten von Dieselkraftstoff frei Raffinerie und vor Steuern in Höhe von rund 45 €/MWh.

Beim Vergleich der Fischer-Tropsch-Kraftstoffbereitstellung mit der direkten Wärmeerzeugung aus Stroh und Waldrestholz wird deutlich, dass diese Alternativen näher an der Wettbewerbsfähigkeit sind bzw. diese bereits erreicht haben. Die Wärmebereitstellung kommt heute in der Regel bereits nahezu ohne Subventionen aus. Die ökonomische Analyse einer Kraft-Wärme-Kopplung oder einer alleinigen Stromerzeugung ergibt folgendes Bild: Im Vergleich zu den Stromgestehungskosten im Steinkohlekraftwerk stellen sich die Stromgestehungskosten in Heizkraftwerken und Kraftwerken auf der Brennstoffbasis von Waldrestholz und Stroh als nicht wirtschaftlich dar. Die Co-Verbrennung von Waldrestholz und Stroh in Steinkohlekraftwerken stellt hierzu eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit dar, den fossilen Energieträger Steinkohle teilweise zu substituieren.

CO₂-Minderungskosten

Mit der Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien kann die Emission treibhausrelevanter Gase und somit der Treibhauseffekt reduziert werden. Bei den hier durchgeführten Analysen wurden neben CO₂ auch die Treibhausgase CH₄ (Methan) und N₂O (Lachgas) einbezogen und in der Summe als CO₂-Äquivalente dargestellt (Bild 7). Die Kosten der CO₂-Minderung ergeben sich aus den Mehrkosten und der erzielten CO₂-Minderung im Vergleich zur fossilen Referenz. Mit dieser Kenngröße kann dargestellt werden, wie teuer die jeweilige Technologie bei der Verfolgung einer CO₂-Minderungsstrategie ist. Zur vergleichenden Bewertung wurden CO₂-Minderungskosten aus Studien mit CO₂-Minderungsszenarien bei der Verfolgung der Minderungsziele der Bundesregierung herangezogen (vgl. [4]). Aussagen aus diesen Studien ergeben, dass bei einem CO₂-Minderungsziel von 25 % oder gar 40 % bezogen auf das Jahr 1990 CO₂-Minderungskosten zwischen 50 und 100 € pro t CO₂-Äquivalent angesichts teurerer Alternativen durchaus zu akzeptieren sind.

Die Produktion synthetischer Kraftstoffe aus Stroh und Waldrestholz lässt CO₂-Minderungskosten zwischen 250 und 350 €/t CO₂-Äquivalent erwarten. Bei einer Verstromung resultieren (mit Ausnahme der Festbettvergasung in

Kleinanlagen) deutlich geringere Kosten unterhalb von 100 €/t CO₂-Äquivalent. Am günstigsten lässt sich eine CO₂-Minderung über die Wärmebereitstellung realisieren, denn hier fallen nahezu keine bzw. sogar negative CO₂-Minderungskosten an.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigen, dass Stroh und Waldrestholz mengenmäßig und auch hinsichtlich kostengünstiger Bereitstellung sehr interessante nachwachsende Energieträger darstellen. Ihr Potenzial ist in Deutschland noch nicht ausreichend erschlossen. Dies trifft insbesondere auf Getreidestroh zu, das derzeit aufgrund seiner deutlich schlechteren Verbrennungseigenschaften nahezu keine energetische Verwendung findet. Die energetische Nutzung von Waldrestholz wird auch in Zukunft vor allem im Wärmemarkt stattfinden, da hier der energetische Wirkungsgrad und die Wertschöpfung am höchsten sind. Wie Analysen im Vergleich zu Heizöl zeigen, ist dies in der Regel heute schon nahezu ohne Subventionen möglich. Die energetische Nutzung zur alleinigen Bereitstellung von Strom stellt sich dagegen deutlich ungünstiger da. Dies gilt besonders für Anlagen, die aufgrund ihrer Größe (mehr als 20 MW elektrischer Leistung) nicht in den Genuss der Einspeisevergütung nach dem derzeit gültigen EEG kommen. Eine dem EEG entsprechende Förderung der Co-Verbrennung oder der Co-Vergasung in Kohlekraftwerken könnte insbesondere für Stroh volkswirtschaftlich eine sehr interessante Variante darstellen, nicht zuletzt mit Blick auf die relativ günstigen CO₂-Minderungskosten.

Im Gegensatz dazu verdeutlichen die Abschätzungen zur Bereitstellung von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen aus Stroh und Waldrestholz, dass die CO₂-Minderungsstrategie bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung nur ein sehr schwaches Argument für die Forcierung dieser Aktivitäten darstellt. Hier schneidet die Verwendung zur Strom- und insbesondere zur Wärmebereitstellung mit Abstand günstiger ab. Wird jedoch ausschließlich der Verkehrssektor betrachtet, so sind die CO₂-Minderungskosten bei Fischer-Tropsch-Kraftstoffen als „relativ günstig“ einzustufen, verglichen mit anderen technischen Varianten der CO₂-Minderung in diesem Sektor.



Die Schnellpyrolyse-Anlage des Forschungszentrums Karlsruhe – der erste Schritt des Bioliq-Verfahrens.

Mit Blick auf das untersuchte Bioliq-Konzept des Forschungszentrums Karlsruhe muss jedoch angeführt werden, dass die Schnellpyrolyse und Vergasung zusätzlich Wege eröffnet, die Biomasse als Kohlenstoffträger einer weitergehenden chemischen Nutzung zuzuführen. Deshalb sollte dieser Entwicklungsweg weiter beschritten werden. Dies schließt eine gekoppelte chemisch-energetische Nutzung im Sinne eines Biorefinery-Konzepts mit ein. Darüber hinaus lassen sich unter Nutzung des technischen Fortschritts oder besonders günstiger Rahmenbedingungen bei der Biomassebeschaffung – zum Beispiel im außereuropäischen Ausland – bestehende ökonomische Nachteile bei der Kraftstoffherzeugung sicherlich reduzieren.

Fazit

Weiter ansteigende Energiepreise werden in Deutschland die Nachfrage nach Stroh und Waldrestholz als Energieträger deutlich verstärken. Die Potenziale für einen solchen Zuwachs sind vorhanden. Aufgrund der ökonomischen Vorzüglichkeit wird die Bereitstellung von Wärme im Vordergrund stehen, gefolgt

von der Verstromung. Ob die Bereitstellung von Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz in Deutschland in den nächsten zehn Jahren über den Pilot- und Demonstrationsmaßstab hinauskommt, ist fraglich. Dies sollte aber keinesfalls zum Fazit führen, solche Aktivitäten „unkritisch“ anzugehen. Unter Vorsorgegesichtspunkten sollte vielmehr deren Machbarkeit demonstriert werden. Die daran anschließende Markteinführung muss dabei nicht zwangsläufig in Deutschland erfolgen.

Literatur

- [1] EU-Kommission: Eine Energiepolitik für Europa. Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat und das Europäische Parlament, KOM(2007) 1, 2007, Brüssel.
- [2] EU-Kommission: Förderung von Biokraftstoffen als verlässliche Alternative zum Öl im Verkehrssektor. MEMO/07/5, 2007, Brüssel.
- [3] Leible, L. et al.: Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – eine systemanalytische Untersuchung. Karlsruhe: Wissenschaftliche Berichte des Forschungszentrums Karlsruhe, FZKA 7170. www.its.fzk.de/deu/lit/2007/leua07a.pdf
- [4] BMWi (Hrsg.): Energiepolitische und gesamtwirtschaftliche Bewertung eines 40%igen-Reduktionsszenarios. Gutachten für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Dokumentation Nr. 492, 2001, Berlin.