

## **CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verschiedener Biomassenutzungskonzepte**

**Ludwig Leible, Stefan Kälber, Gunnar Kappler, Eberhard Nieke,  
Beate Fürniß**

### **Zusammenfassung**

CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind die Messlatte, an der sich unterschiedliche Strategien zur Entlastung des Treibhausklimas messen müssen. Dies trifft in analoger Weise auf Biomassenutzungskonzepte zu, die auf die Bereitstellung von Wärme, Strom und Kraftstoff abzielen. Ausschlaggebend für die Höhe der resultierenden CO<sub>2</sub>-Minderungskosten ist vor allem, von welchem fossilen Energieträger und Preisniveau hierfür ausgegangen wird und welche Nutzenergie bereitgestellt werden soll. Ausgehend von Getreidestroh und Waldrestholz zeigt beispielsweise der Vergleich, dass die Wärmebereitstellung nahezu mit keinen oder gar negativen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verbunden ist – bei BtL-Kraftstoffen liegen diese dagegen im Bereich von 250 bis 350 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

## **1 Einleitung**

Unsere Energie- und Rohstoffversorgung soll unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten sowohl sicher, kostengünstig als auch umweltverträglich ausgerichtet sein. Bei der Umweltverträglichkeit konzentriert sich das Augenmerk in sehr starkem Maße auf den Aspekt „Entlastung des Treibhausklimas“.

Aktuelle politische Ziele und Vorgaben auf nationaler und internationaler Ebene, wie z. B. der EU-Aktionsplan für Biomasse oder die im Januar 2007 vorgestellten Vorschläge für eine europäische Energiepolitik, zielen darauf ab, den Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen [1]. Dies betrifft sowohl die Wärme-, Strom- als auch die Kraftstoffbereitstellung; hierbei werden hohe Erwartungen v. a. an die energetische Nutzung von Biomasse und insbesondere an biogene Reststoffe geknüpft.

Mit Blick auf das Treibhausklima wurden auf nationaler, EU- oder internationaler Ebene je nach Zeithorizont unterschiedlich ambitionierte Reduktionsziele gesetzt, z. B.:

- Deutschland: Reduktion bis 2020 um 25 bzw. 40 % (Bezugsjahr 1990) [2]
- EU: Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 8 % bis 2010 bzw. um mindestens 20 % bis 2020 (Bezugsjahr: 1990) [1]

- Welt: Reduzierung der energiebedingten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 50 % (Bezugsjahr: 2005) [3]

Die Ausführungen in diesem Beitrag sollen einen Einblick geben, mit welchen Kosten – „CO<sub>2</sub>-Minderungskosten“ – die Nutzung von Biomasse zur Entlastung des Treibhausklimas verbunden ist; hierbei wird ausschließlich auf die energetische Nutzung eingegangen. Zunächst wird skizziert, welche Biomassearten und vor allem welche energetischen Konversionsverfahren für die Bereitstellung von Wärme, Strom und Kraftstoffen genutzt werden können. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise bei der Ableitung der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten mit den hierbei wichtigsten Faktoren dargelegt. Exemplarisch hierzu werden einige Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen vorgestellt und mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen und eingeordnet. Mit einem Ausblick schließt der Beitrag.

## 2 Nutzungskonzepte für Biomasse

Die Bereitstellung und Nutzung von Biomasse ist sehr vielfältig. In Abbildung 1 ist vereinfachend skizziert, wie komplex sich die Zusammenhänge bei der Bereitstellung und Nutzung von Biomasse darstellen. Hinsichtlich der Herkunft lassen sich zwei Gruppen von Biomasseträgern unterscheiden, auf der einen Seite die gezielt angebaute Pflanzen und auf der anderen Seite biogene Rest- und Abfallstoffe, insbesondere aus der Land-/Forstwirtschaft, der Landschaftspflege/Naturschutz, der öffentlichen Abfallentsorgung und dem produzierenden Gewerbe.

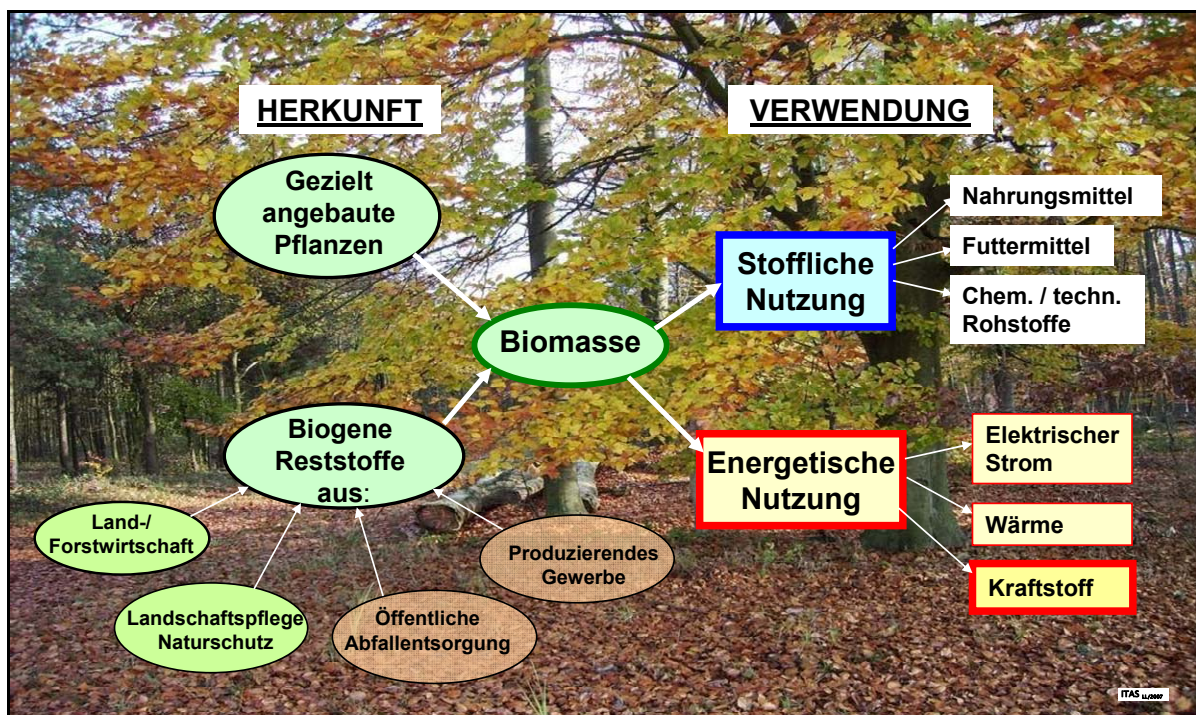


Abb. 1: Biomasse – Konkurrenz bei Herkunft und Verwendung

Gezielt angebaute Pflanzen, wie z. B. Raps, Winterweizen, Zuckerrüben oder Kartoffeln, haben vielseitige stoffliche Verwendungsformen als Nahrungs- und Futtermittel oder als chemisch/technischer Rohstoff, z. B. in der Papierindustrie oder chemischen Industrie. Darüber hinaus sind sie Rohstofflieferant für die Gewinnung von Biodiesel oder Bioethanol als Energieträger. Diese vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten deuten die vielfältigen Konkurrenzbeziehungen um diese gezielt angebauten Pflanzen an.

Deutlich geringer ist dagegen die Konkurrenz um die Verwendung der biogenen Reststoffe ausgeprägt, zu denen z. B. Stroh oder Waldrestholz zählen. Darüber hinaus sind diese aufgrund der verringerten Konkurrenzsituation bei der Verwendung auch zu geringeren Kosten als gezielt angepflanzte Biomasse zu erhalten. Zudem treten sie nicht in Konkurrenz mit der Nutzung als Nahrungs- und Futtermittel.

Prinzipiell kommt für die energetische Nutzung von Biomasse – z. B. von Getreidestroh oder Waldrestholz – zur Bereitstellung von Wärme, Strom und Kraftstoff eine Vielzahl thermochemischer Umwandlungsprozesse in Betracht. Ein Überblick zu diesen Technologien ist in Abbildung 2 zusammengestellt, differenziert nach der bereitgestellten Endenergie (Wärme, Strom und Kraftstoff) und der Anlagengröße/-leistung. Diese verschiedenen Anlagen und Technologien liegen den in Kapitel 4 vorgestellten Ergebnisse aus den eigenen Untersuchungen zugrunde [4][5].

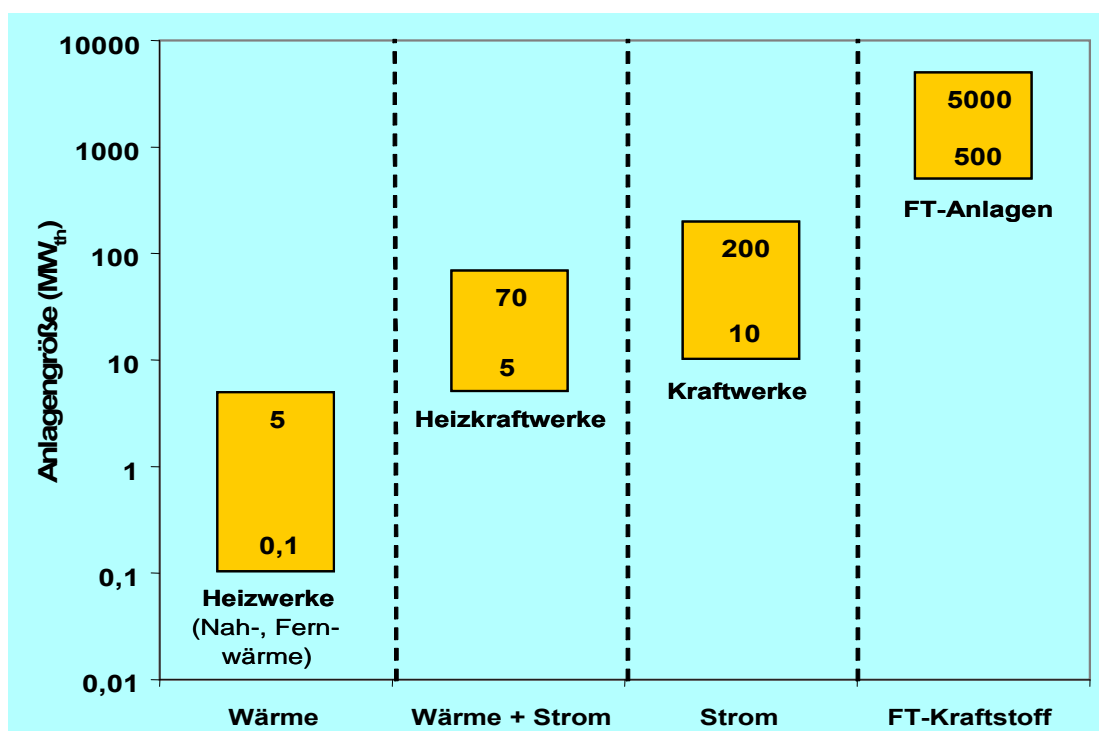


Abb. 2: Überblick zu den untersuchten Anlagengrößen zur Bereitstellung von Wärme, Strom und Kraftstoff aus Getreidestroh und Waldrestholz

Hierbei wurden als konkurrierende Nutzungsoptionen einerseits die Wärme- und Stromgewinnung durch direkte Verbrennung in Biomasseheizwerken bzw. Biomasse-

(heiz)kraftwerken und die Co-Verbrennung in Steinkohlekraftwerken berücksichtigt; dies schloss die thermochemische Vergasung zur Stromerzeugung mit ein. Andererseits wurde die Herstellung von Fischer-Tropsch(FT)-Kraftstoffen in Großanlagen (500–5000 MW<sub>th</sub>) betrachtet. Natürlich sind es nicht nur FT-Kraftstoffe, die aus Biomasse gewonnen werden können. Vielmehr gibt es eine Vielzahl an Verfahrensrouten (vgl. Abbildung 3), um flüssige, aber auch gasförmige Kraftstoffe bereitzustellen. Diese haben selbst wieder unterschiedliche Anforderungen an die nachgelagerte Infrastruktur der Kraftstoffverteilung und die motortechnische Nutzung.

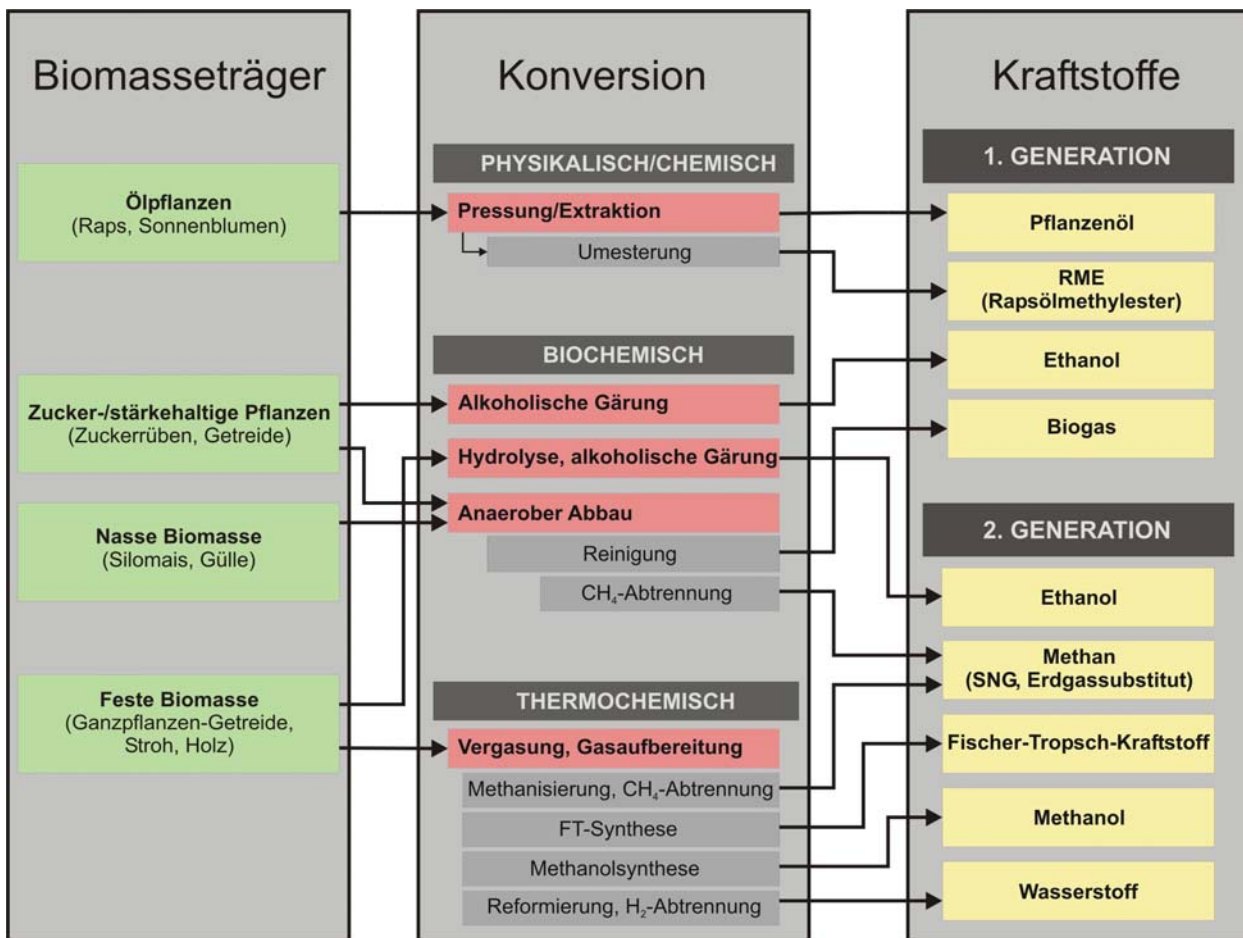


Abb. 3: Verschiedene Routen der Kraftstoffherzeugung aus Biomasse

Die sogenannten Kraftstoffe der ersten Generation – zu diesen zählen insbesondere Pflanzenöle, Rapsölmethylester (RME) und Ethanol – sind derzeit nahezu die einzigen Biokraftstoffe, die sowohl national als auch international am Markt verfügbar sind. Diesen Kraftstoffen ist zu Eigen, dass hierfür öltreiche bzw. zucker- und stärke-reiche Pflanzen angebaut werden müssen und jeweils nur ein Teil der Pflanze (z. B. das Getreidekorn) über physikalisch/chemische bzw. biochemische Konversionsverfahren zur Kraftstoffgewinnung genutzt werden kann. Die hierbei eingesetzten Konversionsverfahren sind aber seit langem bekannt und optimiert.

Im Gegensatz dazu ist die Bereitstellung von Kraftstoffen der zweiten Generation – hierzu zählen die bereits angeführten FT-Kraftstoffe – nicht an gezielt angebaute Energiepflanzen gebunden. Vielmehr können hierfür sowohl die gesamte Pflanze als auch unterschiedlichste biogene Rest- und Abfallstoffe eingesetzt werden. Von Vorteil ist hierbei ein hoher Flächenertrag an Lignocellulose, welche nach einer thermochemischen Konversion in Synthesegas für die anschließende Kraftstoffsynthese genutzt werden kann. Das Synthesegas kann darüber hinaus über weitergehende Schritte der Gasaufarbeitung und -konditionierung (z. B. Methanisierung oder Reformierung) zur Gewinnung von Methan als Erdgassubstitut (SNG, Substitute Natural Gas) oder auch von Wasserstoff eingesetzt werden. Hierbei ist die Verwendung von Methanol, Methan oder Wasserstoff keinesfalls auf Kraftstoffe beschränkt; sie könnten auch in Syntheseprozessen der chemischen Industrie Eingang finden.

### 3 Methodisches Vorgehen bei der Ableitung von CO<sub>2</sub>-Minderung und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten

Nachfolgend wird anhand der wesentlichen Einflussgrößen vereinfacht erläutert, wie bei der Ableitung der CO<sub>2</sub>-Minderung und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten vorgegangen wird.

#### 3.1 Energiebilanzen und Netto-Energieertrag

Energiebilanzen (vgl. Abbildung 4) sind die Basis, um abschätzen zu können, in welchem Maße fossile Energieträger durch Bioenergieträger ersetzt werden können.

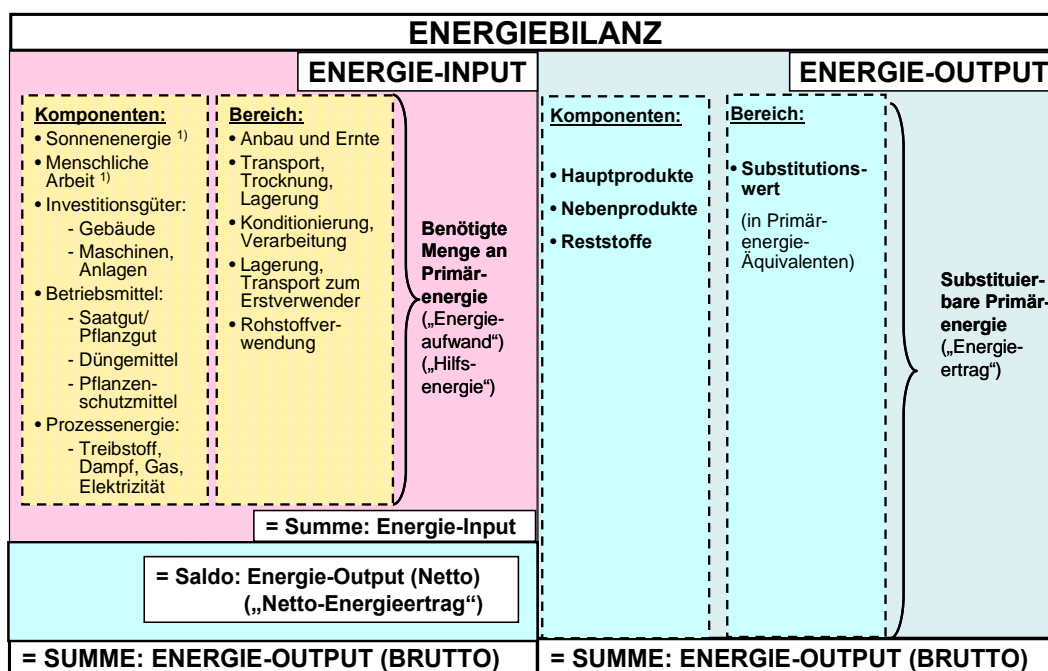


Abb. 4: Schematisches Vorgehen bei der Ableitung einer Energiebilanz zu biogenen Energieträgern

Entlang der Prozesskette der Bereitstellung des Bioenergieträgers – vom Anbau bis zur Verwendung, einschließlich der benötigten Vorketten – muss der gesamte Energie-Input erfasst und anhand der damit verbundenen Kosten und Treibhausgas-Emissionen bewertet werden. Auf der Seite des Energie-Outputs ist parallel dazu zu analysieren, in welchem Umfang über die energetische Nutzung der Haupt- und Nebenprodukte bzw. Reststoffe des Bioenergieträgers fossile Energie substituiert und somit Kosten und Treibhausgas-Emissionen eingespart werden können. Entscheidend hierbei ist vor allem, dass ein hoher Netto-Energieertrag – als Saldo zwischen Energie-Input und Energie-Output – erzielt wird, da hieraus eine entsprechend hohe Netto-CO<sub>2</sub>-Minderung und somit eine Entlastung des Treibhausklimas resultiert.

### 3.2 Preise und Treibhausgas-Emissionen bei fossilen Energieträgern

Neben den Preisen bzw. Kosten für die Bioenergieträger ist für deren ökonomische und treibhausrelevante Bewertung vor allem maßgeblich, welche fossilen Energieträger – z. B. Dieselkraftstoff, Erdgas oder Steinkohle – ersetzt werden und in welchem Ausmaß. Essentiell für die ökonomische Bewertung ist das als Referenz zugrunde gelegte Preisniveau für die fossilen Energieträger. Je höher die Preise für die substituierten fossilen Energieträger sind, desto eher erreichen die Bioenergieträger ökonomisch ihre Wettbewerbsfähigkeit bzw. tendieren die erzielbaren CO<sub>2</sub>-Minderungskosten gegen Null oder werden sogar negativ. Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass sich die Preise (vor Steuern) für Heizöl, Dieselkraftstoff, Erdgas und Erdöl von 1990 bis 2006 (2008) – mit Ausnahme der importierten Kraftwerkskohle – mehr als verdoppelt haben.

Tab. 1: Preise für fossile Energieträger 1990 und 2006 (2009)

Bezugsjahr	1990	2006	
	(in Euro/MWh, vor Steuern)	in % von 1990	
Heizöl (frei Kleinverbraucher, 3.000 Liter)	19	51	268
Dieselmkraftstoff (ab Erdölraffinerie)	16	45	256
Erdgas (frei Haushalte, Kleinverbrauch)	26	60	231
Steinkohle (Import-, frei Kraftwerk)	7	8	114
Erdöl (\$/barrel)	20	65	325
		75	(2007)
		90	(2008)
		45	(03.2009)

Zusammenstellung in Anlehnung an [4]–[7].

Der Erdölpreis hat sich bis 2007 mehr als verdreifacht (75 \$/barrel) und erreichte 2008 einen Jahresdurchschnitt von rd. 90 \$/barrel, bei einer Preisspitze im Juli 2008 von rd. 145 \$. Durch diese rasante Preisentwicklung der letzten drei Jahre bei den

fossilen Energieträgern hat sich die Wettbewerbssituation für die Bioenergie deutlich verbessert, was insbesondere der Bereitstellung von Wärme aus Biomasse zu Gute kam. Die Finanz- und Wirtschaftskrise hat in der zweiten Jahreshälfte 2008 zwar zu einem massiven Verfall der Preise für fossile Energieträger geführt – aktuell (März 2009) liegt der Erdölpreis bei rd. 45 \$/barrel (s. Tabelle 1) –, mit der Erholung der Weltwirtschaft wird sich dies aber wieder deutlich umkehren. Mittel- und längerfristig ist folglich von einer günstigen Wettbewerbssituation für Bioenergie auszugehen.

Um für Bioenergieträger abschätzen zu können, in welchem Umfang durch die Substitution fossiler Energieträger das Treibhausklima entlastet wird, sind Kennwerte zu deren treibhausrelevanten Emissionen nötig. In Tabelle 2 sind entsprechende Werte für Steinkohle, Erdgas, Diesel und Heizöl aufgeführt, jeweils angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Hierbei wird beispielsweise deutlich, dass alleine durch den Wechsel bei der Stromgewinnung von Steinkohle auf Erdgas das Treibhausklima deutlich entlastet werden könnte – zusätzlich müssten natürlich beim Erdgas die Wirkungsgradvorteile beim Gas- und Dampf(GuD)-Kraftwerk gegenüber dem Steinkohlekraftwerk berücksichtigt werden. Diesem Vorteil steht gegenüber, dass Steinkohle – insbesondere aber Braunkohle – deutlich preiswerter frei Kraftwerk bereitgestellt werden kann, verglichen mit Erdgas. Darüber hinaus können viele Länder – siehe Beispiel China oder Deutschland – bei diesem fossilen Brennstoff ein hohes Maß an Eigenversorgung aufrechterhalten und somit ihre Importabhängigkeit vom Weltmarkt abschwächen. Dass hierdurch eine stringente CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie erschwert wird, liegt auf der Hand.

Tab. 2: Heizwert und Treibhausgas-Emissionen bei fossilen Energieträgern

	Heizwert	Angaben in kg/MJ (H <sub>u</sub> ) Brennstoff			
	H <sub>u</sub> (MJ/kg)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	∑ CO <sub>2</sub> -Äq.
<b>Steinkohle (Mix)</b>	29,3	0,1003	5,13E-04	4,18E-06	<b>0,112</b>
<b>Erdgas (Mix)</b>	36,6 (MJ/Nm <sup>3</sup> )	0,0604	1,61E-04	1,23E-06	<b>0,064</b>
<b>Diesel</b>	42,7	0,0836	1,51E-05	2,57E-06	<b>0,085</b>
<b>Heizöl (HEL)</b>	42,7	0,0831	8,21E-05	7,83E-07	<b>0,085</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren (GWP<sub>100</sub>)</b>		<b>1</b>	<b>21</b>	<b>310</b>	

Angaben jeweils inklusiv Vorkette (vgl. [8])

### 3.3 Ableitung von CO<sub>2</sub>-Minderungskosten

In Abbildung 5 ist für günstige Verhältnisse bei der Gewinnung von Fischer-Tropsch-(FT)-Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz – das gesamte energetisch nutzbare Po-

tenzial wird eingesetzt – vereinfacht dargestellt, wie bei der Ableitung von CO<sub>2</sub>-Minderungskosten methodisch vorgegangen wird.

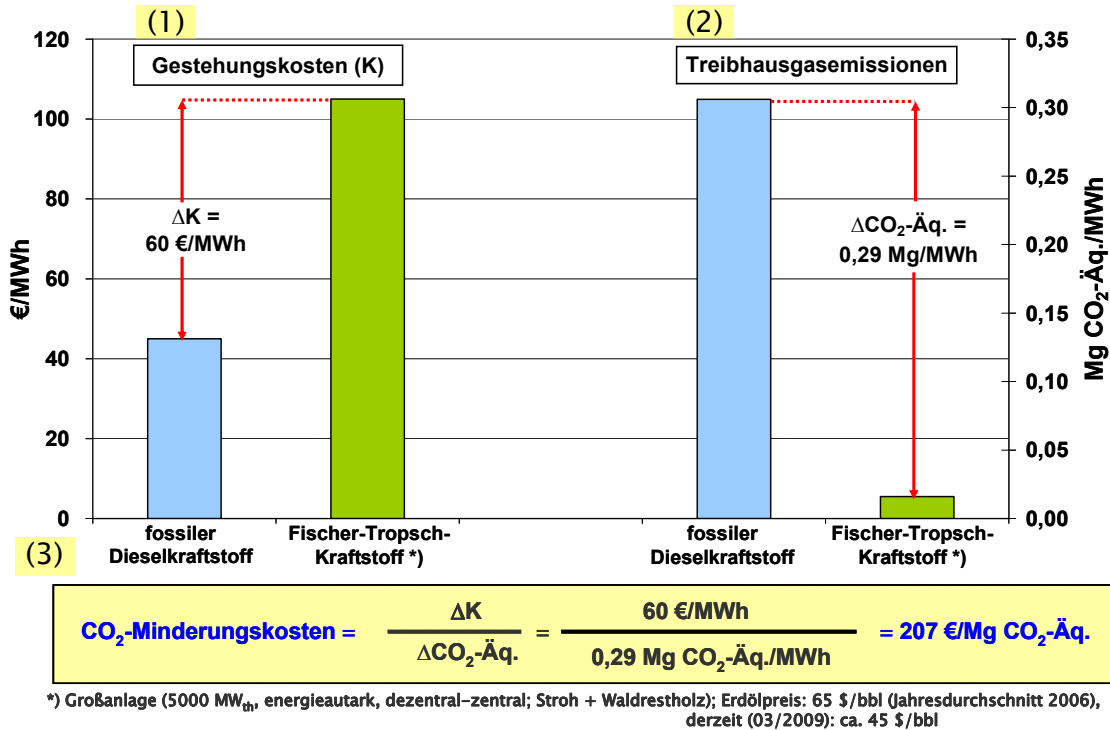


Abb. 5: Vorgehensweise bei der Ableitung der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten – Beispiel Fischer-Tropsch-Kraftstoff

Letztendlich lassen sich hier drei Schritte unterscheiden. Zunächst wird im ersten Schritt – ausgehend vom Prozesskettenvergleich bzw. der Energiebilanz (vgl. Abbildung 4) des Bioenergieträgers bzw. fossilen Energieträgers – ermittelt, welche Differenz bei den Gestehungskosten (ohne Subventionen, jeweils vor Steuern) zwischen dem FT-Kraftstoff und dem fossilen Dieselmotorkraftstoff bestehen. Analog dazu wird dies im zweiten Schritt für die damit verbundenen Emissionen an treibhausrelevanten Gasen getan. Die gesamte FT-Prozesskette wurde – mit Ausnahme der Biomassebereitstellung – als energieautarker Prozess kalkuliert, die Treibhausgasemissionen sind somit gering. Im letzten Schritt resultieren aus der Gegenüberstellung der Differenzen von Gestehungskosten und Treibhausgasemissionen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten – in diesem Beispiel liegen diese etwas über 200 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äq. (vgl. Abbildung 5).

#### 4 Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz

Zum Vergleich mit der Produktion von FT-Kraftstoff wurden als konkurrierende Verfahren für die Nutzung von Stroh und Waldrestholz einerseits die Wärme- und Stromgewinnung durch direkte Verbrennung in Biomasse-Heizwerken bzw. Biomasse-



(heiz)kraftwerken und die Co-Verbrennung in Steinkohlekraftwerken untersucht [4][5]. Dies schloss die thermochemische Vergasung zur Stromerzeugung mit ein. Andererseits wurden die auf fossilen Energieträgern (Rohöl, Import-Steinkohle) basierenden Alternativen der Wärme-, Strom- und Kraftstoffherzeugung dargestellt.

## 4.1 Gesteuerungskosten

In Abbildung 6 werden die Wärme-, Strom- und Kraftstoffgestehungskosten für die betrachteten Verfahren einander gegenübergestellt. Als fossile Referenzen dienen die Wärmegestehungskosten in einer mit Heizöl betriebenen Kleinfeuerung – diese liegen derzeit bei rund 96 €/MWh<sub>w</sub> –, die Stromgestehungskosten in einem Steinkohlekraftwerk (500 MW<sub>el</sub>) – diese liegen bei rd. 52 €/MWh<sub>el</sub> – und die Bereitstellungskosten von Dieseldieselkraftstoff, die in einem Bereich von 30 bis 45 €/MWh liegen, je nach unterstelltem Erdölpreis.

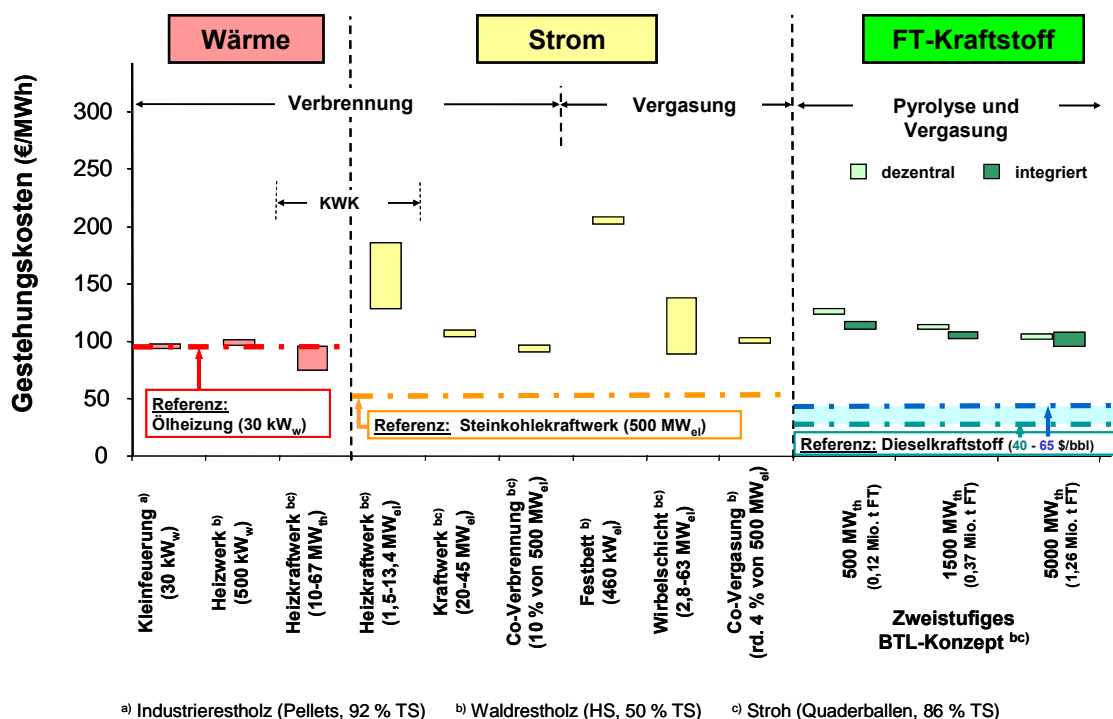


Abb. 6: Gesteuerungskosten von Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz (vgl. [4])

Die ökonomische Analyse im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung und der alleinigen Stromerzeugung ergibt das folgende 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 eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit dar, den fossilen Brennstoff Steinkohle teilweise zu substituieren. In den Vergleich in Abbildung 6 sind

ebenfalls die Gestehungskosten von FT-Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz und als zugehörige Referenz die Kosten von Dieselmotorkraftstoff in einer Raffinerie einbezogen. Eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Produktion von FT-Kraftstoffen wäre ohne Mineralölsteuerverzicht erst bei Rohölpreisen ab rd. 150 \$/bbl möglich.

Beim Vergleich der FT-Kraftstoffgewinnung mit der Wärmeerzeugung aus Stroh und Waldrestholz wird deutlich, dass diese Alternativen näher an der Wettbewerbsfähigkeit sind bzw. diese bereits erreicht haben. So zeigen die Ergebnisse, dass bereits heute die Wärmebereitstellung in der Regel nahezu ohne Subventionen auskommt.

## 4.2 CO<sub>2</sub>-Minderung

Mit der Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare kann die Emission treibhausrelevanter Gase und somit der Treibhauseffekt reduziert werden. Bei den durchgeführten Analysen wurden, wie in Tabelle 2 aufgeführt, neben CO<sub>2</sub> auch die Treibhausgase CH<sub>4</sub> (Methan) und N<sub>2</sub>O (Lachgas) einbezogen und in der Summe als CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äq.) dargestellt (vgl. Abbildung 7).

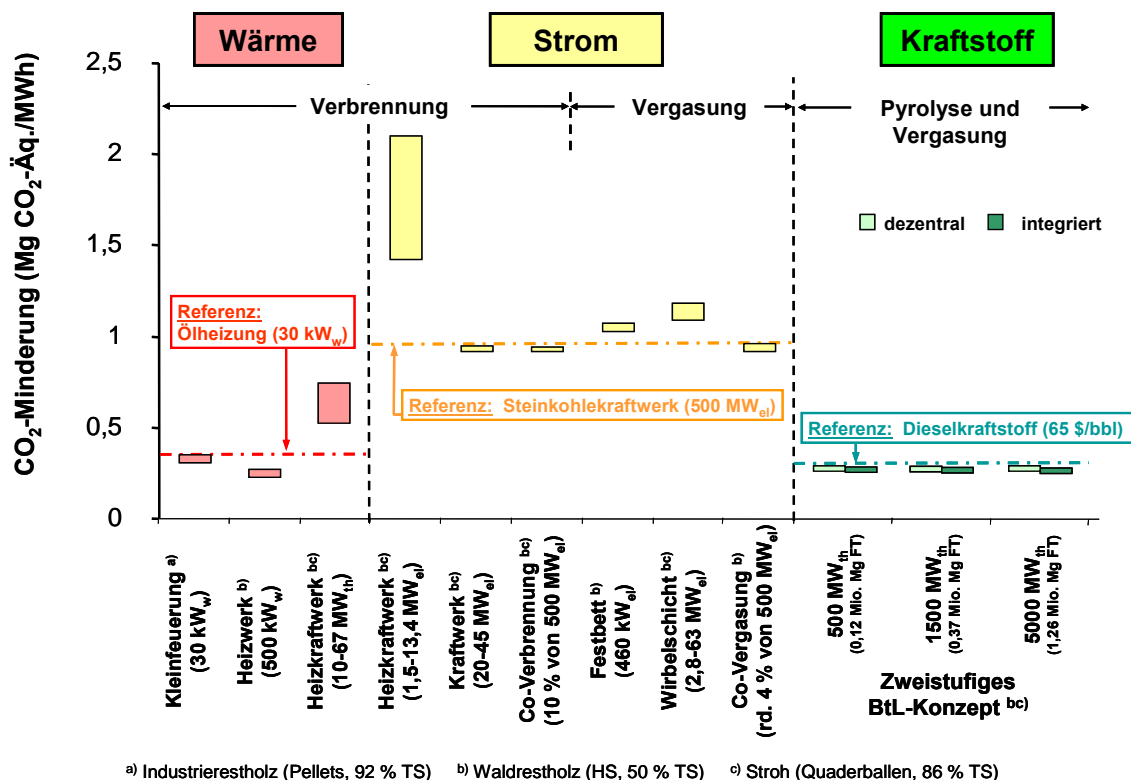


Abb. 7: CO<sub>2</sub>-Minderung bei der Gewinnung von Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz

Mit den Vergasungsverfahren zur Stromerzeugung lässt sich beispielsweise eine CO<sub>2</sub>Minderung im Bereich von 0,9 bis 1,2 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./MWh<sub>el</sub> realisieren. Durch eine

verbesserte Wärmenutzung bei den Verfahren der gekoppelten Strom- und Wärmenutzung ließe sich die CO<sub>2</sub>-Minderung noch deutlich erhöhen.

Mit Blick auf die Kraftstoffproduktion liegt der maximal erreichbare Wert für die CO<sub>2</sub>-Minderung bei den mit der Bereitstellung von fossilem Diesel verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 0,306 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./MWh. Die betrachteten Varianten zur Bereitstellung von FT-Kraftstoff liegen aufgrund von fossil bedingten Emissionen bei Erfassung und Transport von Stroh und/oder Holz etwas unter diesem Maximalwert.

### 4.3 CO<sub>2</sub>-Minderungskosten

Die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten ergeben sich aus den Mehrkosten auf der einen Seite und der erzielten CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber der fossilen Referenz auf der anderen Seite (vgl. Kapitel 3.3). Mit ihrer Hilfe kann dargestellt werden, wie teuer die jeweilige Technologie bei der Verfolgung einer CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie ist. Zur vergleichenden Bewertung wurden zunächst CO<sub>2</sub>-Minderungskosten aus Studien mit CO<sub>2</sub>-Minderungsszenarien bei der Verfolgung der Minderungsziele der Bundesregierung herangezogen [2]. Aussagen aus diesen Studien ergeben, dass bei einem CO<sub>2</sub>-Minderungsziel von 25 % oder gar 40 % CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zwischen 50 und 100 € pro Mg CO<sub>2</sub>-Äq. angesichts teurerer Alternativen durchaus zu akzeptieren sind. In Kapitel 5 werden die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten anhand weiterer Untersuchungen in den nationalen und internationalen Kontext eingeordnet.

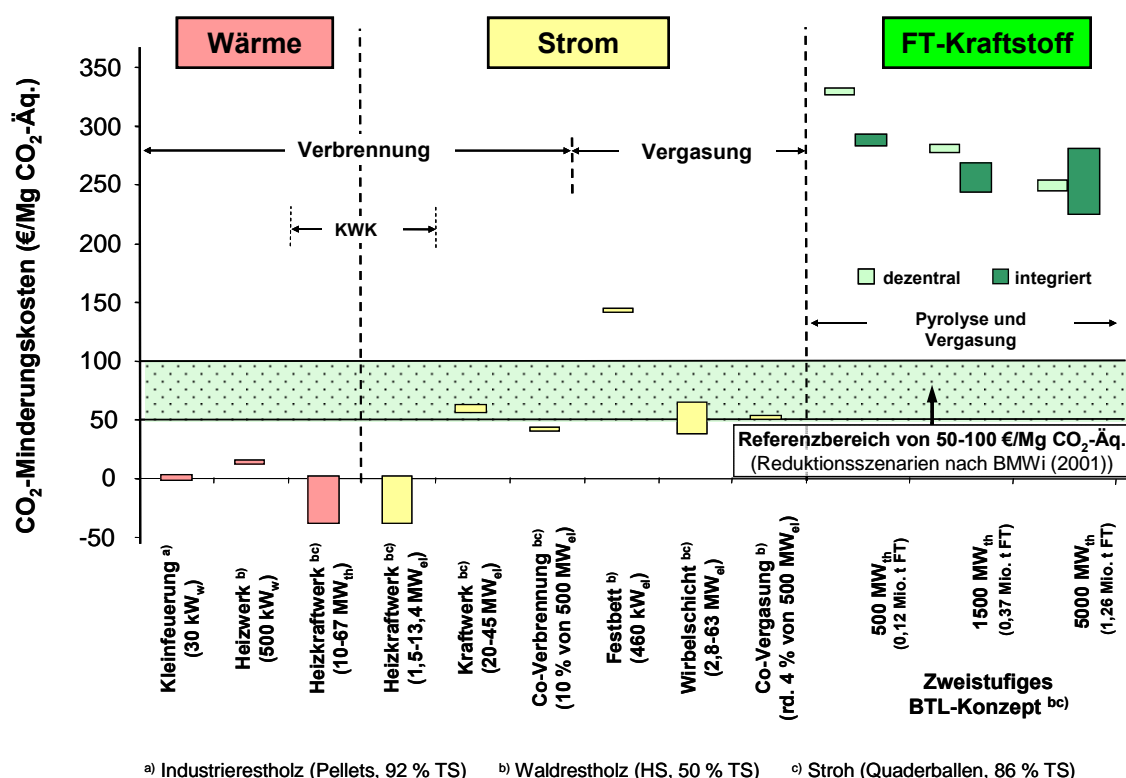


Abb. 8: CO<sub>2</sub>-Minderungskosten bei der Gewinnung von Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz

Bei der Produktion von FT-Kraftstoffen aus Stroh und Waldrestholz liegen die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten deutlich über 200 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Bei der Verstromung – mit Ausnahme der Festbettvergasung – resultieren Kosten von unter 100 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äq. Am günstigsten lässt sich die CO<sub>2</sub>-Minderung über die Wärmebereitstellung realisieren – hier fallen nahezu keine bzw. sogar negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten an.

Die Abschätzungen zu den CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verdeutlichen, dass die CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie – bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung – nur ein sehr schwaches Argument für die Forcierung der Aktivitäten zur Bereitstellung von FT-Kraftstoffen aus Biomasse darstellen kann. Wird jedoch ausschließlich der Verkehrssektor betrachtet, sind diese CO<sub>2</sub>-Minderungskosten als günstig einzustufen.

## 5 CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in anderen Untersuchungen

Für eine Bewertung der Ergebnisse zu den CO<sub>2</sub>-Minderungskosten und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen ist ein Vergleich mit anderen aktuellen Untersuchungen sehr hilfreich.

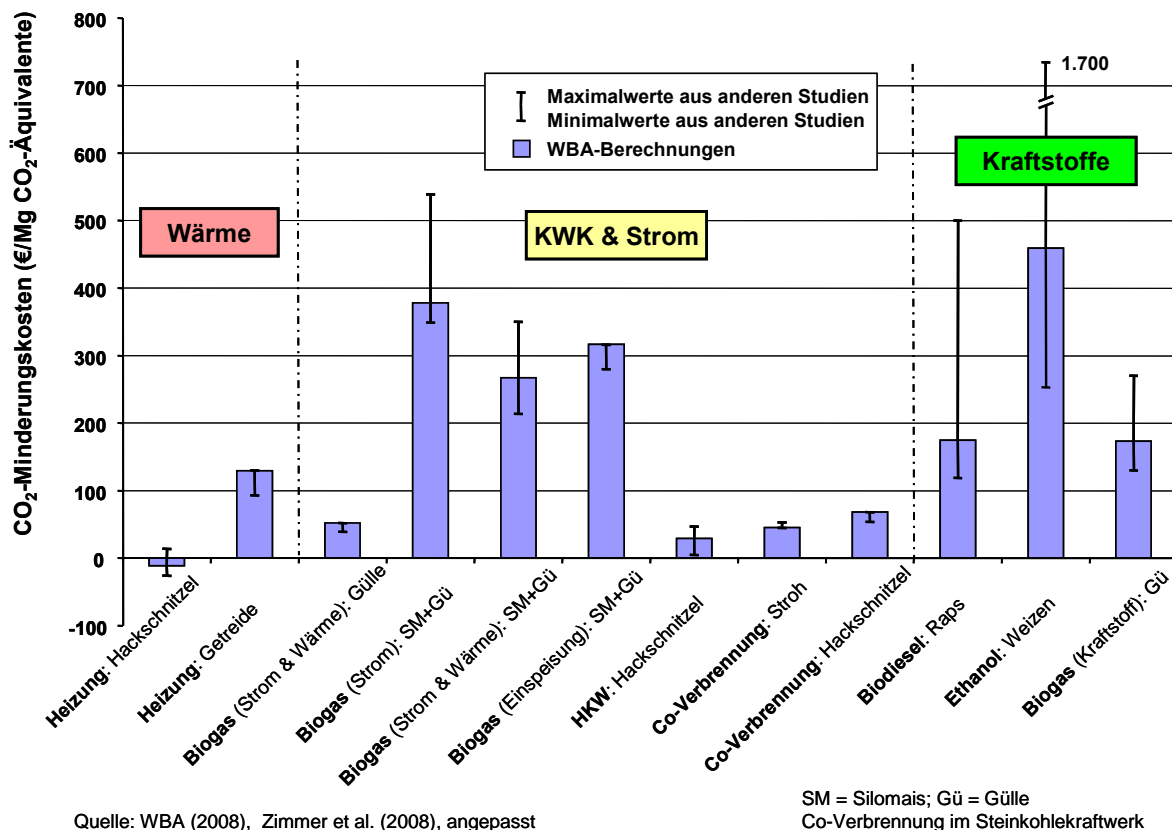


Abb. 9: CO<sub>2</sub>-Minderungskosten bei der Gewinnung von Wärme, Strom und Kraftstoff ([9], [10])

Für einen solchen Vergleich bietet sich das Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats Agrarpolitik „Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an

die Politik“ an, da hier der WBA seine Ergebnisse darüber hinaus bereits mit anderen aktuellen Studien vergleicht (s. Abbildung 9). Obgleich diesen Studien teilweise sehr unterschiedliche Annahmen zugrunde liegen, schneidet die Wärme- bzw. die gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung (KWK) in der Regel am günstigsten ab – hier werden die höchsten energetischen Gesamtnutzungsgrade und die geringsten CO<sub>2</sub>-Minderungskosten erreicht. Die Co-Verbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken zur Stromproduktion stellt sich ebenfalls als kostengünstige Variante dar. Biogas zur Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoff schneidet dann sehr ungünstig ab, wenn bei dem zum Zeitpunkt der Studiererstellung (2007) hohen Agrarpreisniveau Silomais als Gärsubstrat zum Einsatz kommt. Ähnlich ungünstig ist die Bereitstellung der Kraftstoffe Biodiesel aus Raps oder Ethanol aus Weizen. Die Ergebnisse aus dem WBA-Gutachten bestätigen somit die Kernaussagen der eigenen Untersuchungen zu den CO<sub>2</sub>-Minderungskosten bei Biomassenutzungskonzepten: Die Wärmebereitstellung schneidet hier am günstigsten und die Kraftstoffbereitstellung am ungünstigsten ab – die Strombereitstellung ist dazwischen einzuordnen.

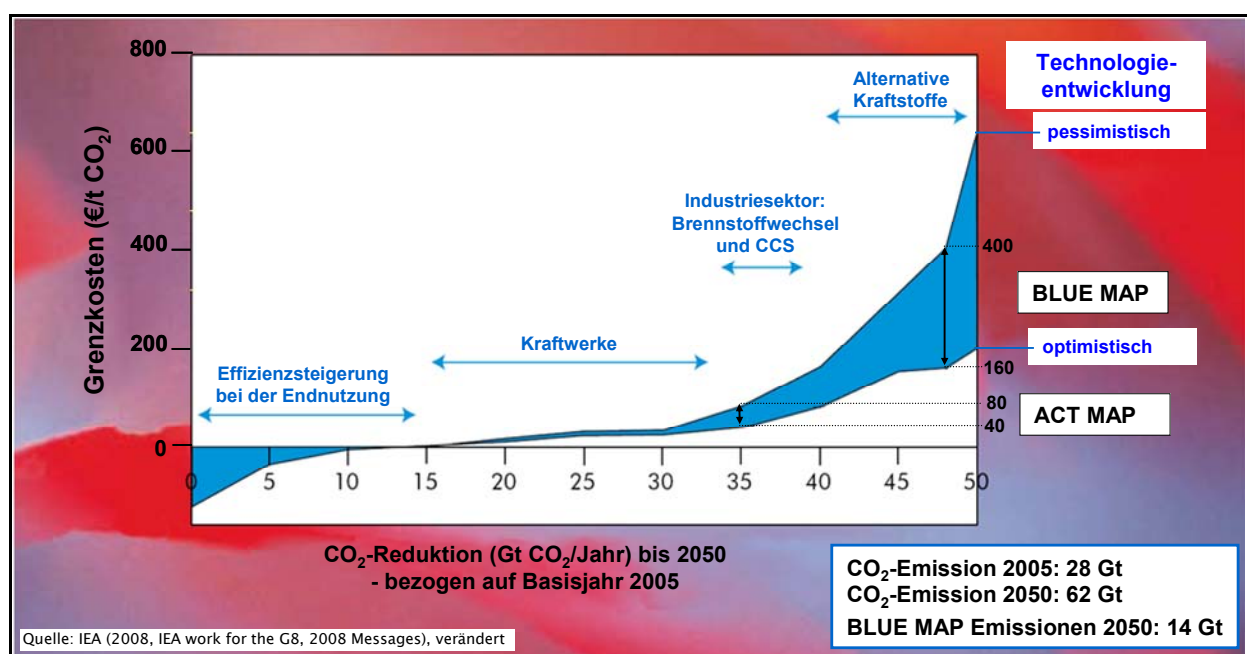


Abb. 10: Grenzkosten bei der weltweiten Stabilisierung und Reduzierung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen [3]

Wie ist die Höhe der abgeleiteten CO<sub>2</sub>-Minderungskosten nun zu bewerten? Dies kann sinnvoll nur vor dem Hintergrund der Ergebnisse von CO<sub>2</sub>-Minderungsszenarien stattfinden, die auf nationaler oder internationaler Ebene ein CO<sub>2</sub>-Minderungsziel verfolgen.

Auf nationaler Ebene zeigte beispielsweise die Untersuchung des BMWi [2] für Deutschland, dass CO<sub>2</sub>-Minderungskosten von 50 bis 100 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äq. bei der Verfolgung eines 25 bzw. 40%igen Reduktionsszenarios (Basis-Jahr 1990) als günstig

einzustufen sind. Deshalb wird dieser Referenz-Korridor in der Regel bei eigenen Untersuchungen (vgl. Abbildung 8) zur Einordnung der Ergebnisse mit aufgeführt.

Aktuelle Untersuchungen der IEA [3] kommen zum Ergebnis, dass die weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen – unter Beibehaltung der bisherigen Entwicklung – im Jahr 2050 bei 62 Mrd. Mg CO<sub>2</sub> liegen würden. Bei einer Stabilisierung dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem Niveau des Jahres 2005 (28 Mrd. Mg CO<sub>2</sub>) würden laut IEA CO<sub>2</sub>-Minderungskosten von 40 bis 80 €/Mg resultieren (vgl. Abbildung 10). Sollen diese Emissionen dagegen auf 14 Mrd. Mg halbiert (BLUE MAP) werden, wären damit Kosten von 160 bis 400 €/Mg CO<sub>2</sub> verbunden, sofern bei der Technologieentwicklung von optimistischen Perspektiven ausgegangen wird. Vor dem Hintergrund dieser IEA-Untersuchung zu CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien bis zum Jahr 2050 wird deutlich, dass sich für Bioenergie auch mittel- und längerfristig interessante Perspektiven auftun.

## 6 Ausblick

Biomasse bietet vielfältige Möglichkeiten im Bereich der stofflichen und energetischen Nutzung. Diese günstigen Perspektiven – insbesondere mit Blick auf die Verfolgung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien – werden regional, national, v. a. aber international die Nutzungskonkurrenz um Biomasse deutlich verschärfen. Hier sollten klare Prioritäten auf die gesicherte Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln gelegt werden. Das hat zur Konsequenz, dass Biomasse als Energieträger nicht auf Flächen angebaut werden sollten, die für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden.

Vielmehr ist die energetische Nutzung von Biomasse verstärkt auf die Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen auszurichten, und zwar vor allem zur Wärmebereitstellung bzw. zur gekoppelten Strom-/Wärmeproduktion. Hier sind derzeit die höchste Effizienz in der energetischen Nutzung und die geringsten CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zu erreichen. Die Bereitstellung von Kraftstoffen aus Biomasse ist dagegen in der Regel die ungünstigste Variante zur CO<sub>2</sub>-Minderung. Dies sollte aber keinesfalls vorschnell zur Schlussfolgerung führen, die Forschung, Entwicklung und Demonstration in diesem Verwendungsfeld der Biomasse zu reduzieren. Vielmehr sollten entsprechende Anstrengungen unter Vorsorge-Gesichtspunkten intensiviert werden. Dies kann dem Standort Deutschland Wettbewerbsvorteile – z. B. bei innovativen Technologien zur Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse (Lignocellulose) – verschaffen und Exportmöglichkeiten eröffnen.

## Literatur

- [1] EU-Kommission (2007): Eine Energiepolitik für Europa. Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat und das Europäische Parlament – KOM(2007) 1, Brüssel
- [2] BMWi (Hrsg.) (2001): Energiepolitische und gesamtwirtschaftliche Bewertung eines 40%igen Reduktionsszenarios. Endbericht von Prognos, EWI und BEI, Juli 2001. Gutachten erstellt im Auftrag des BMWi, Dokumentation Nr. 492, Berlin
- [3] IEA (International Energy Agency) (2008): IEA work fort the G8 – 2008 messages. In support of the G8 plan of action.  
[http://www.mofa.go.jp/policy/economy/summit/2008/doc/pdf/0708\\_06\\_en.pdf](http://www.mofa.go.jp/policy/economy/summit/2008/doc/pdf/0708_06_en.pdf) (letzter Zugang: 16.03.2009)
- [4] Leible, L., S. Kälber, G. Kappler (2008): Energiebereitstellung aus Stroh und Waldrestholz. BWK (5), 56–62
- [5] Leible, L., S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, P. Proplesch, D. Wintzer, B. Fürniß (2007): Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – Eine systemanalytische Untersuchung. Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7170, 117 S. Online: <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/leua07a.pdf> (letzter Zugang: 12.03.2009)
- [6] Tecson (2009): Entwicklung der Erdölpreise. <http://www.tecson.de/poelhist.htm> (letzter Zugang: 12.03.2009)
- [7] Wintzer, D., B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, E. Nieke, C. Rösch, H. Tangen (1993): Technikfolgenabschätzung zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe". Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Landwirtschaftsverlag, Münster, 480 S.
- [8] Leible, L., A. Arlt, B. Fürniß, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, C. Rösch, D. Wintzer (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft. Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-6882, 278 S. Online: <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2003/leua03a.pdf> (letzter Zugang: 12.03.2009)
- [9] WBA (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik (verabschiedet: Nov. 2007; Erscheinungsdatum: 24.01.2008). Online: [http://www.bmelv.de/eln\\_045/nn\\_751706/DE/14-WirUeberUns/Beiraete/Veroeffentlichungen/NutzungBiomasseEnergiegewinnungVorwort.html](http://www.bmelv.de/eln_045/nn_751706/DE/14-WirUeberUns/Beiraete/Veroeffentlichungen/NutzungBiomasseEnergiegewinnungVorwort.html) (letzter Zugang: 16.03.2009)

- [10] Zimmer, Y., S. Berenz, H. Döhler, F. Isermeyer, L. Leible, N. Schmitz, J. Schweinle, T. Toews, U. Tuch, A. Vetter und T. de Witte (2008): Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien. Landbau- forschung, Sonderheft 318, 120 S.



**Bio- und  
Sekundärrohstoffverwertung IV**  
stofflich • energetisch

Prof. Dr.-Ing. Klaus Wiemer  
Dr.-Ing. Michael Kern

Redaktion: Dr.-Ing. Michael Kern  
Ute Müller  
Jana Wagner

Satz/Layout: Patrizia Funda

Druck: Druckhaus Göttingen

Verlag: Witzenhausen-Institut  
für Abfall, Umwelt und Energie GmbH  
Werner-Eisenberg-Weg 1  
37213 Witzenhausen

**Bio- und Sekundärrohstoffverwertung IV**

**stofflich – energetisch**

**K. Wiemer, M. Kern. Witzhausen 2009**

**(Witzhausen-Institut. Neues aus Forschung und Praxis)**

**ISBN 3-928673-54-8**

**1. Auflage 2009**

**ISBN 3-928673-54-8**

© Witzhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Werner-Eisenberg-Weg 1

37213 Witzhausen

Tel: 05542/9380-0

Fax: 05542/9380-77

E-Mail: [info@abfallforum.de](mailto:info@abfallforum.de)

<http://www.abfallforum.de>

**Gedruckt auf 100 % Altpapier**

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.